

# PROCÉDE ACTIF DE PROTECTION DES BERGES DES RIVIÈRES ET DES OUVRAGES DE RÉGULARISATION CONTRE L'ÉROSION.

Mrs. Chinkarouk L., Ph. D, Maître de conférences.

Chelih M., Ph. D, chargé de cours à l'université des Sciences et de la Technologie d'Oran, Institut de génie civil, ORAN, ALGÉRIE.

## RÉSUMÉ

Un procédé appelé actif 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 est étudié au laboratoire sur un modèle réduit d'un prototype en exploitation en Ukraine. Sur la base de résultats empiriques, une méthode de calcul est exposée et recommandée et un schéma est proposé pour dimensionner et réaliser ce type de procédé de protection qui s'avère d'une efficacité indiscutable par rapport au procédé passif existant.

## Mots-Clés

ÉPERON - ÉPI - PROTECTION - ÉROSION - PROCÉDE - COURANTS HÉLICOÏDAUX - FOSSE - AFFOUILLEMENT - TALUS - PIED.

## 1. INTRODUCTION

Les cours d'eau des régions montagneuses souffrent particulièrement du passage des crues. Elles sont la cause de la destruction des pieds des ouvrages de régularisation et de protection édifés 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 le fruit des phénomènes d'érosion, de transport et de sédimentation des particules solides.

- Dans ce 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 affailement 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 sont faites par le professeur ROZOVSKI. I. L. [5]. Il propose une méthode de calcul. Nous différencions deux points de vue relatifs au problème de la protection contre l'érosion

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

- 2) 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.

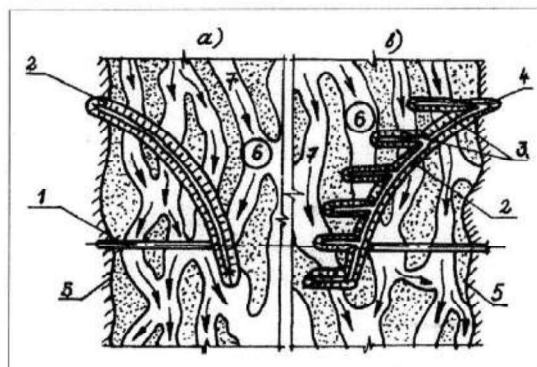
La multiplicité des mesures artificielles pratiquées comme moyen de protection contre l'érosion est basée sur deux procédés: le procédé actif et le procédé passif.

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.

## 2. PRINCIPE DU PROCÉDE 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. Nous jugeons nécessaire de compléter les digues d'orientation par des éléments constitutifs, afin d'obtenir le procédé actif. Ces éléments sont organisés dans des endroits où les affouillements possèdent de grandes dimensions.



- 1- Remblais du pont;
- 2- épis d'appel;
- 3- encastrement latéral;
- 4- les berges de la rivière;
- 5- direction de l'écoulement;
- 6- le lit de la rivière;
- 7- fosse d'affouillement;
- 8- 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.

Les épis d'appels réalisés généralement en amont des ouvrages à protéger contre l'érosion ont pour tâche de converger l'écoulement vers les orifices des ponts, des prises d'eau et des barrages - déversoirs (fig. 1). Ainsi nous diminuons les pertes de



charges et rendons l'écoulement quasi - uniforme à l'approche de l'ouvrage. La forme la plus optimale de l'épi, en plan, est l'ellipse ayant pour rapport des demi - axes égal à 2,0.

Dans cet article nous donnons quelques recommandations et proposons une méthode de calcul relatives 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.

### 3. LES RÉSULTATS DE RECHERCHES AU LABORATOIRE

#### 3.1. 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 de murs latéraux d'une hauteur de 0,75 m. Au milieu du canal une boîte-magasin de dimensions (6.0x3.1 x0.2)m<sup>3</sup> est installée sous forme d'un lit d'approfondissement.

La boîte est remplie de sable de de 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 déformation géométrique des dimensions. La similitude de FROUDE est 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.

#### 3.2. LES RÉSULTATS EMPIRIQUES

##### 3.2.1. DESCRIPTION DU PHÉNOMÈNE

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 affouille 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.

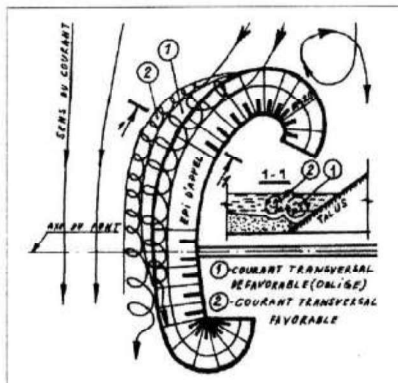


Fig. 2- L'image de l'écoulement de fond au pied de l'épi.

Dans un deuxième temps, les essais sont fait sur un épi d'appel complété de trois éperons submersibles. Le nombre des essais menés est terminé en moyennant de la théorie mathématique de planification des expériences [1]. L'efficacité du dispositif de protection d'un épi d'appel contre l'érosion proposée dans [1] est confirmée par les résultats obtenus de l'étude cinématique de l'écoulement au voisinage du pied du talus de l'épi d'appel. Le régime d'écoulement produit dans nos essais est turbulent.

##### 3.2.2. TRAITEMENT DES RESULTATS

Nous savons que l'une des caractéristiques essentielles du régime turbulent est présentée par l'intensité de turbulence estimée par:  $\sigma_v/v$

Où

$\sigma_v$  - écart moyen quadratique de la composante longitudinale de la vitesse de l'écoulement de fond;

$v$  - vitesse moyenne locale.

Le traitement des résultats de nos essais nous a conduit à tracer le graphe de la relation

"  $y/H = f(\sigma_v/v)$  " avec «  $y$  » variant de 0 à H.

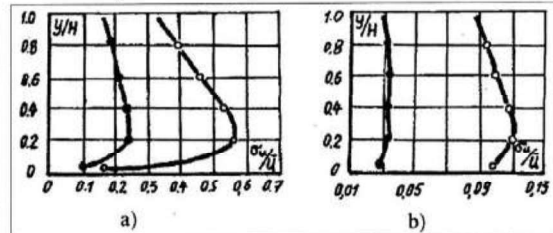


Fig. 3- Répartition de l'intensité de turbulence en profondeur du courant le long du pied du talus de l'épi d'appel.

a) dans le site « au début de l'épi »,

b) dans la fosse à profondeur maximale.

— sans éperons; — avec éperons.

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 du procédé de protection contre l'érosion.

### 4. PROCÉDÉ ACTIF DE PROTECTION

#### 4.1. L'ÉPERON

Nous recommandons de réaliser des épis d'appels avec trois éperons submersibles, pour protéger les pieds des talus contre l'érosion locale. Disposés parallèlement et orientés vers l'amont, les éperons sont enracinés dans le talus des épis. Ils peuvent être réalisés, d'après les matériaux de construction disponibles, 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 :

$$S_{af} = (0,48 \dots 0,52) S_e$$

avec

$S_e$  - Longueur de la partie elliptique supérieure de l'épi. C'est à la distance «  $S_{af}$  » qu'il est recommandé d'organiser le premier éperon principal. Les deux autres sont réalisés parallèlement au premier éperon, le long de l'épi, avec des écarts équidistants de :

$$S_1 = S_2 = (0,11 \dots 0,13) S_e$$

avec

$S_1, S_2$  : distances respectives prises entre le premier et le deuxième éperon et le deuxième et le troisième aux points de raccordement avec le talus de l'épi d'appel.

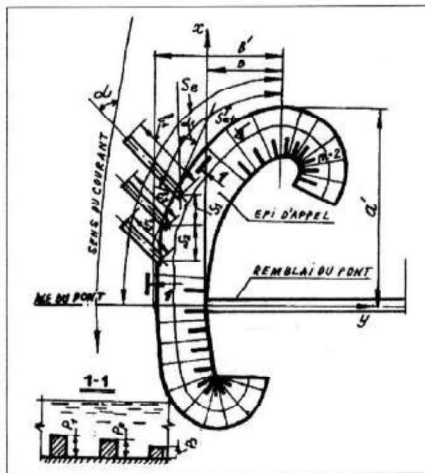


Fig. 4- Schéma du procédé actif de protection

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 que la forme de la fosse d'affouillement est conique. Nous déterminons géométriquement la longueur de l'éperon principal :

$$L_1 = 2hf \sqrt{m_1^2 + 1} + a_0 \quad (1)$$

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 :

$$h_f = h_{af} - H \quad (2)$$

avec

$h_{af}$  : 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

$$H_{af} = H + \frac{2,8U^2 \sin \alpha_1}{\sqrt{m_1^2 + 1}} \quad (3)$$

avec

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

$\alpha_1$  - angle d'obliquité 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 «  $h_f$  » 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 :

$$l_2 = 0,70 l_1 \text{ et } l_3 = 0,60 l_1$$

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

$$P_1 = (0,15 \dots 0,30) H \quad (4)$$

Une fois la valeur de «  $P_1$  » trouvée, nous estimons les hauteurs du deuxième et troisième éperons respectivement par les égalités suivantes :

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

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

#### 4.2. 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.

Nous exposons la marche de calcul à suivre :

considérons l'éperon principal et calculons la hauteur d'eau maximale dans la fosse d'affouillement formée à sa tête :

$$H_{1ep} = q_m / U_{ad} \quad (5)$$

$U_{ad}$  - vitesse admissible

$q_m$  - débit spécifique correspondant au débit maximum de projet à la tête de l'éperon.

Ce paramètre peut - être trouvé par la relation empirique suivante :

$$q_m = q_0 [0,974 + 0,153(\beta - 2,2)^2 + 0,0014] \left[ 0,87 + \frac{0,1P_1}{H} + 1,35 \frac{\Delta}{H} \right] \quad (6)$$

avec

$q_0$  - débit spécifique de l'écoulement dans la rivière en largeur de l'observation par l'éperon.

$\beta$  - taux d'obstruction avec  $\beta = Q/Q_p$ .

$Q$  - débit de la rivière sans obstruction

$Q_p$  - débit de la rivière avec obstruction

$P_1/H$  - hauteur relative de l'éperon

$\Delta/H$  - rugosité relative du lit de la rivière.

La hauteur moyenne des aspérités du sol formant le lit de la rivière est estimée par la formule :

$$\Delta = \frac{0,70 d_m}{S_0} \quad (7)$$

avec

$d_m$  : diamètre moyen des particules solides



$$S_{0.75} = \sqrt{\frac{d_{25}}{d_{75}}}$$

où  
 $d_{25}$ ,  $d_{75}$  : diamètres des particules solides de tamisat cumulé respectivement de 25% et 75%  
 Nous proposons de trouver la valeur de la vitesse admissible par la relation empirique de MIRTSKHOULAVA, TS. E complétée par un coefficient rectificatif, tenant compte de la sécurité, établi par ONITCHOUK, V. V.

$$U_{ad} = \frac{0,8}{S_{0.75}^{2,5}} \left[ \lg \frac{8,8 H}{d_m} \sqrt{\frac{2gm'(\rho_s - \rho)}{0,44 \rho \eta}} \cdot d_m \right] \quad (8)$$

$m'$  - coefficient caractérisant les conditions de travail, ( $m' = 1,0 \dots 1,4$ )  
 $\rho_s$  - densité des particules solides  
 $\rho$  - densité de l'eau  
 $\eta$  - coefficient de sécurité, pour les rivières alluviales, ( $\eta = 4,0$ )

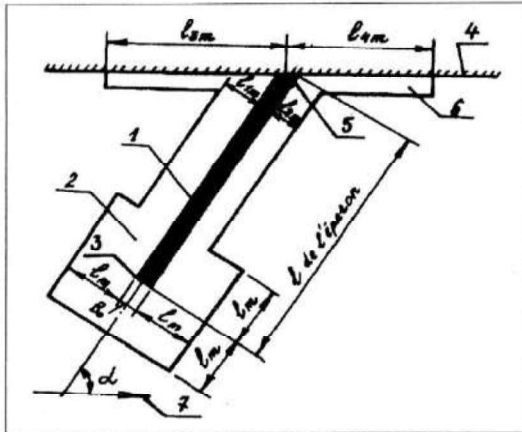
Nous évaluons la profondeur de la fosse d'affouillement, sachant que:

$$H_{1ep} = H_{1ep} - H \quad (9)$$

Nous rappelons que la forme de la fosse d'affouillement est supposée conique; ce qui conduit à obtenir géométriquement les dimensions de la semelle à la tête de l'éperon de la manière suivante:

$$l_m = h_{1ep} \sqrt{1 + m^2} + a_2$$

avec  
 $a_2$  - largeur de réserve prise égale à 1 m ou 2m.



- 1-éperon submersible;
- 2- tapis de parafouille (semelle);
- 3- tête de l'éperon ;
- 4- talus de l'épi d'appel;
- 5- point d'enracinement ;
- 6- protection du pied d'appel;
- 7- direction de l'écoulement.

Fig. 5 - Schéma de la semelle au - dessous de l'éperon.

Les autres dimensions sont obtenues et recommandées comme suit:

$$l_{1m} = 0,60 l_m ; l_{2m} = 0,40 l_m ; l_{3m} = 15 \dots 20m ; l_{4m} = 10 \dots 15m$$

Le type de fixation du talus de l'épi d'appel à l'endroit de l'éperon est choisi d'après la valeur de la vitesse instantanée de 1% de fréquence.

Nous recommandons pour estimer cette valeur d'utiliser en pratique la relation suivante:

$$u = U_0 [ 1,28 - 0,102 (\beta - 2,2)^2 ] \left[ 1,07 + 0,34 \frac{P1}{H} \right] \quad (10)$$

Où  
 $U_0$  : vitesse d'écoulement correspondant au débit «  $q_0$  » évoqué antérieurement.

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 d'utilisation sont largement expliqués dans [4]. 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 avec une longueur de 10 à 15m, une largeur de 2 à 3m et une épaisseur de 0,20m.

### CONCLUSION

Nous recommandons d'utiliser en pratique 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 le procédé actif décrit dans cet article et pour son dimensionnement la méthode de calcul exposée. Il est souhaitable de compléter les ouvrages existant dépourvus de ces éléments constitutifs qui sont les éperons.

Ce procédé peut trouver un large domaine d'application en Algérie, vu l'importance des crues des cours d'eau et des dégâts qu'elles peuvent engendrer.

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.

### BIBLIOGRAPHIE

- [1] Chinkarouk L. A. L'application de la théorie mathématique de planification des expériences pour faire le choix de la composition des ouvrages de régularisation à prendre près des ponts. Travaux scientifiques des jeunes savants, N°5, Leningrad, 1984. pp 267...274.
- [2] Filliat G. La pratique des sols et fondations. Ed. Moniteur, Paris, 1981. pp 1392.
- [3] Jamme G. Travaux fluviaux. Ed. Eyrolles, Paris, 1974. pp 163.
- [4] Quesnel B. Traité d'hydraulique fluviale appliquée. cours d'eau non - navigables, tome 1, 3<sup>ème</sup> édition. Ed. Eyrolles, Paris, 1980. pp 325
- [5] Rozovski I. L. Ecoulement d'eau dans une courbe du lit à ciel ouvert. Ed. de l'Académie des sciences de l'Ukraine, Kiev, 1957. pp 188.