

# Techniques végétalisables de protections des ouvrages hydrauliques longitudinaux

## *Greenable technical solutions to protect longitudinal hydraulic works*

Francis DERACHE, Michel COURTAUD, Guillaume de POUS

France Gabion groupe Maccaferri  
29, rue Rossini - BP 8  
26 901 Valence Cedex 9  
Tel. : 04 75 86 19 99  
Fax : 04 75 86 09 19  
E.mail : fderache@francegabion.com

### **Résumé**

L'utilisation des technologies à base de double torsion (gabions, matelas...) associée à la mise en place de végétaux est une réponse pertinente aux exigences des aménagements hydrauliques. Ces techniques dimensionnables sont le trait d'union entre génie civil et génie végétal dans le cadre d'une démarche de développement durable.

### **Abstract**

*The use of technics based on the double-twist technology (gabions, mattresses...) combined with vegetation is the right answer to the demand for hydraulic works. This kind of technics makes the link between Civil-engineering works and bio-engineering Works.*

### **Mots-clés**

Rivières, barrages, digues, protection de berges, génie-végétal, gabions, matelas, terramesh ; géogrilles, bionattes...

### **Keywords**

*Rivers, dams, embankment, bank's protection, bio-engineering, gabions, mattresses, terramesh, geogrids, biomats...*

# 1. Introduction

L'aménagement croissant du territoire lié à l'activité humaine et la nécessité d'assurer la sécurité des biens et des personnes conduisent depuis les temps les plus reculés à la réalisation de nombreux ouvrages hydrauliques.

Les ouvrages hydrauliques les plus importants en terme d'infrastructures sont les ouvrages longitudinaux destinés à contenir les eaux, à protéger contre les effets des eaux, ou à en guider leur cours.

Ces ouvrages soumis à des sollicitations diverses nécessitent la mise en place de protections spécifiques : anti-batillage, anti-érosion, anti-fouisseur....

La réalisation de ces ouvrages présente un risque élevé de « dénaturation » des milieux naturels en déséquilibrant l'écosystème.

L'objet de cet article est de présenter brièvement des techniques végétalisables de protections des ouvrages longitudinaux, alternatives aux solutions traditionnelles.

## 2. Descriptif des solutions

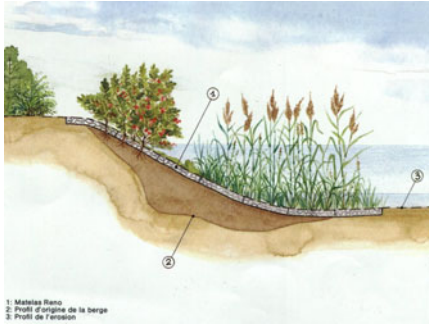
Les solutions techniques sont conçues et réalisées à partir de la technologie double torsion (gabion, matelas de gabions et terramesh...). Elles permettent de réaliser des ouvrages dans le cadre des normes « Exécution des ouvrages géotechniques spéciaux », NF P 94 325 – 1 et pr NF P 94 325 – 2.

Ces solutions ont des caractéristiques intrinsèques adaptées aux ouvrages hydrauliques :

- **Souple**, ce qui permet d'accepter sans dommage des déformations liées à la qualité du support d'assise ou à des modifications morphologiques de la section.
- **Drainant**, ce qui permet de maintenir les échanges entre le cours d'eau et la nappe. Annule les sous-pressions ou les poussées hydrostatiques.
- **Monolithique**, ce qui permet de mobiliser la résistance de l'ensemble de l'ouvrage et une répartition homogène des sollicitations.
- **Faible épaisseur**, ce qui permet de conserver des sections mouillées et de réduire les quantités de matériaux à mettre en œuvre.
- **Rugosité adaptée** ni trop forte type béton qui accélère les vitesses, ni trop faible qui ralentit les écoulements en faisant monter la ligne d'eau.
- **Intégration au site** en s'adaptant à la géométrie du cours d'eau et permettant la végétalisation.

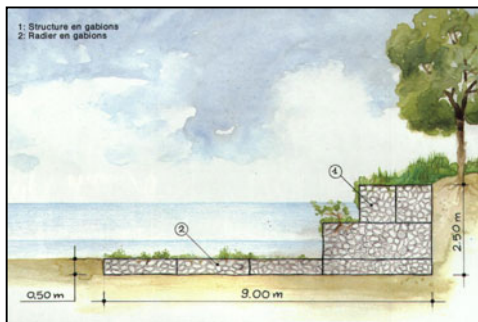
On distingue 2 familles principales de solutions : les ouvrages inclinés et les ouvrages verticaux ou sub-verticaux.

## Ouvrages longitudinaux inclinés

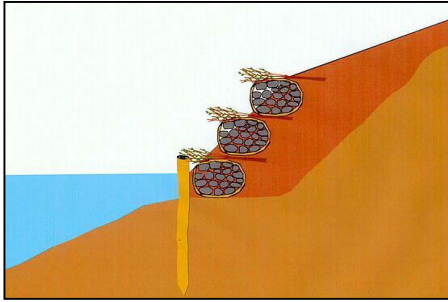


Il s'agit d'ouvrages dont l'unique **fonction est la protection** vis-à-vis des sollicitations hydrauliques (Effet tangentiel du courant, et batillage). Ces ouvrages utilisent des grillages double-torsion, des matelas de gabions parfois associés à des géogrilles tridimensionnelles ou des bionattes pour armer le couvert végétal.

## Ouvrages longitudinaux verticaux



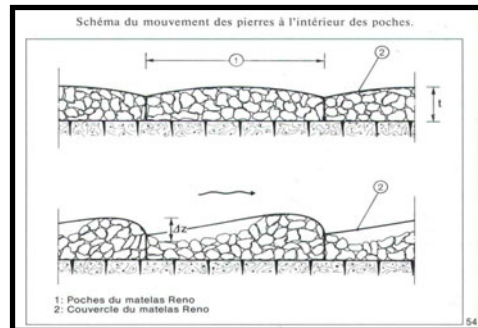
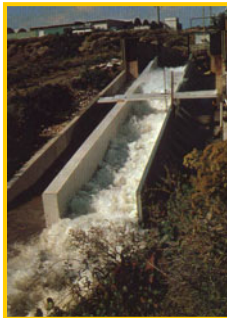
Il s'agit d'ouvrages qui ont une **fonction de soutènement et de stabilité** et une fonction de **protection** vis-à-vis des sollicitations hydrauliques. Ces ouvrages utilisent des grillages double-torsion, des matelas de gabions, des gabions, des terramesh à parement minéral ou végétal, associés à des pieux bois ou des géogrilles tridimensionnelles ou encore des bionattes pour armer le couvert végétal.



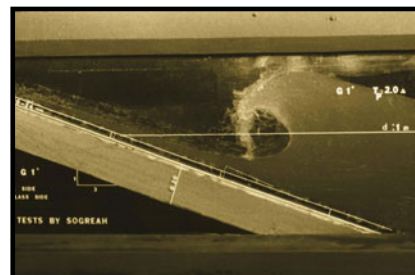
Tous ces ouvrages s'inscrivent dans une gestion globale du bassin versant vis-à-vis des crues. Ils sont donc associés à des ouvrages permettant les débordements (surverses, déversoirs...) vers des plaines d'inondation.

### 3. Caractéristiques techniques

De nombreux essais ont été réalisés pour définir les caractéristiques intrinsèques des gabions et matelas de gabions et leurs performances vis-à-vis du courant et du batillage. Le comportement interne des structures et les seuils de déformations irréversibles ont été définis en collaboration avec des bureaux d'études et des Universités en laboratoire et *in situ*.



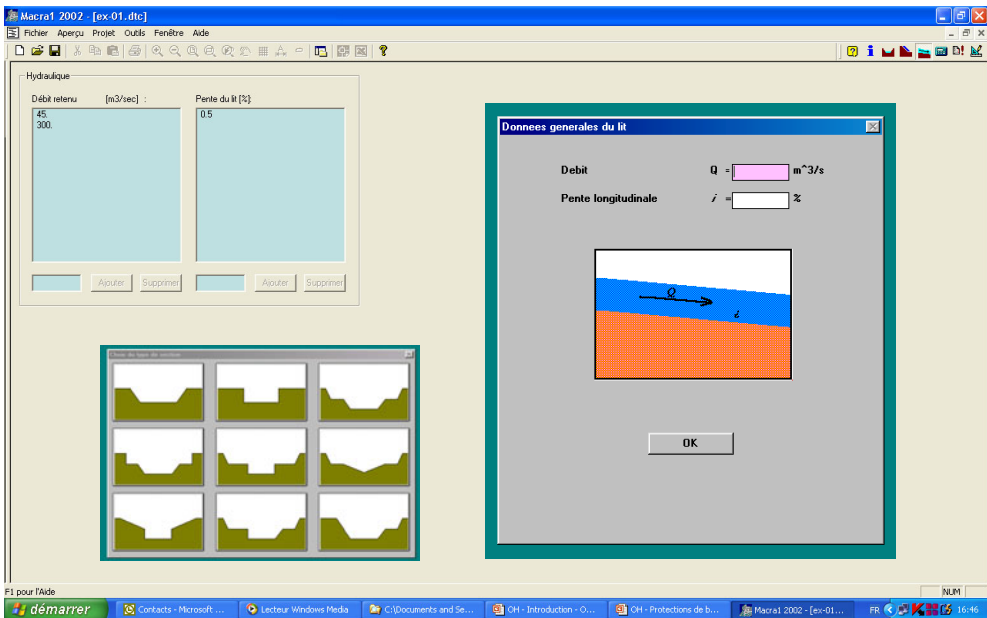
Université de Fort Collins (EU) – Laboratoire SOGREAH à Grenoble



## 4. Méthode de dimensionnement

Les ouvrages sont dimensionnés à l'aide du logiciel MACRA 1. Ce logiciel a été développé par Maccaferri pour fournir aux Ingénieurs d'Etudes un instrument rapide et efficace de vérification des protections de berges des cours d'eau vis-à-vis du courant et des vagues. Il permet d'examiner une vaste gamme de conditions hydrauliques pour des sections de cours d'eau protégées avec des ouvrages de type gabions, matelas de gabion et géogrille tri-dimensionnelle, ainsi que des techniques de bio-ingénierie les plus utilisées.

Le logiciel MACRA 1 permet de vérifier en régime d'écoulement uniforme, différents types de protection de berge caractérisé par une tension tangentielle maximum  $\tau_c$  et un coefficient de rugosité  $n$ . MACRA 1 effectue la comparaison entre des contraintes maximum agissantes et des contraintes résistantes.



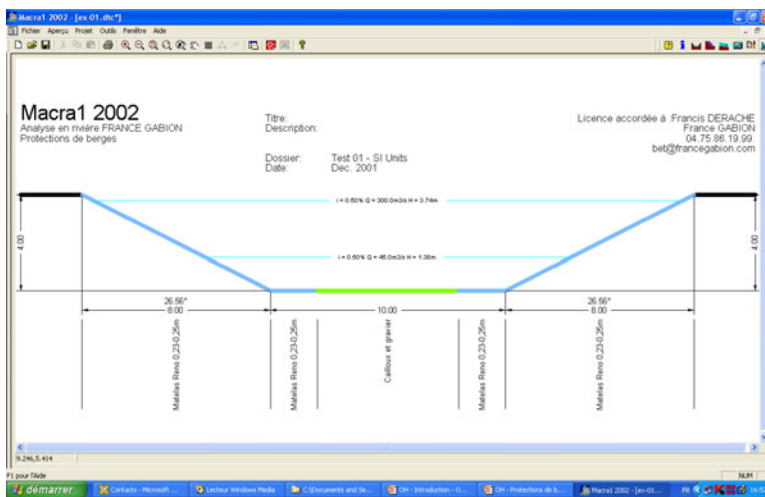
*Logiciel MACRA 1 : Saisie des données*

Le programme a été réalisé dans l'optique de fournir aux ingénieurs d'études un instrument 'ouvert' dans lequel l'expérience professionnelle et la progression des connaissances en matière de bio-ingénierie permettent de faire varier dans le temps les valeurs de  $\tau_c$  et  $n$ , pour lesquelles des valeurs de référence sont fournies.

Par ailleurs, le programme offre la possibilité de dimensionner un revêtement destiné à la protection des berges contre le battillage (cas de bassins ou de canaux navigables), en fournissant l'épaisseur du matelas de gabion nécessaire pour garantir la protection contre l'érosion.

Pour faciliter la compréhension et l'utilisation du programme, celui-ci a été développé sous Windows™. Ainsi, l'utilisateur peut insérer des données et vérifier les résultats de façon simple et directe.

La première partie du manuel présente la méthode de calcul, les hypothèses et leurs limites de validité. Dans la deuxième partie, les modalités d'utilisation sont décrites et enfin dans la troisième partie, un exemple numérique est présenté.



Logiciel MACRA 1 : Vérification de la section

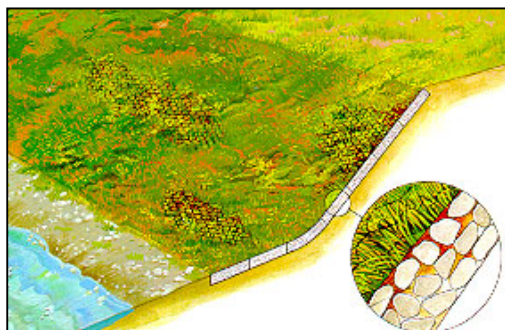
## 5. Végétalisation

La végétalisation des protections de berge est un enjeu majeur des aménagements hydrauliques. Il s'agit de reconstituer la ripisylve (zone naturelle de transition entre le milieu aquatique et le milieu terrestre). La ripisylve joue un rôle important dans le pouvoir auto-épurateur de cours d'eau et la biodiversité en offrant un biotope adapté à la faune et la flore du site.





Après la phase « lourde » de travaux, il faut mettre en place la végétation. Le choix des végétaux est confié à des spécialistes. Un diagnostic précis préalable du cours d'eau permettra d'établir un « plan de végétalisation ». Les critères botaniques devront répondre aux exigences hydrauliques (vitesse de courant, durée d'inondation...). En général, on évite les espèces arbustives qui réduisent à terme la section hydraulique faute d'entretien.



*Mise en place de terre végétale dans la structure*

Pour accueillir les végétaux, les vides de la structure granulaire des ouvrages (20 à 30%) sont saturés de terre végétale mécaniquement. L'utilisation de l'eau peut faciliter cette opération. La mise en place des végétaux se fait manuellement ou par hydro-ensemencement. A ce stade, l'utilisation de fibres naturelles, bionatte coco ou toile de jute ou encore pour des sollicitations hydrauliques élevées de géogrilles tridimensionnelles armées permet d'assurer la mise en place de la végétation dans sa première étape de vie. En effet les systèmes racinaires sont fragiles au démarrage.



*Pied de digue protégé par un matelas végétalisé*

La protection longitudinale a été dimensionnée pour optimiser les niveaux de protection suivant le profil en travers. De la même manière, les végétaux vont suivre un étagement.

## 6. Conclusion

Il est possible de réaliser des ouvrages hydrauliques longitudinaux résistant à des sollicitations hydrauliques élevées en assurant leur intégration.

Les solutions à base de la technologie double torsion (gabion, matelas...) offrent le support le plus adapté à la mise en place de végétation.

L'ingénieur d'Etudes doit avoir une approche globale hydraulique, hydro-morphologique et hydro-écologique. Il s'agit d'adapter les solutions techniques aux contraintes et exigences propres du site.

Les travaux doivent se dérouler à la bonne période de l'année en fonction du climat et du régime hydraulique du cours d'eau.

Ces techniques s'inscrivent résolument dans une démarche de développement durable.



ANNEXE	TECHNIQUES VEGETALISABLES DE PROTECTIONS DES OUVRAGES HYDRAULIQUES LONGITUDINAUX	1/1
--------	--	-----

### Coûts moyens des Solutions

Ci-dessous un tableau récapitulatif des coûts unitaires moyens des solutions principales permettant de réaliser des ouvrages longitudinaux végétalisables.

Ces coûts comprennent les fournitures et la mise en œuvre dans des conditions courantes hors sujétions ou dispositions constructives particulières.

Ces coûts ne comprennent pas les travaux préalables de terrassement, de fondation, et de remblai à l'arrière des ouvrages.

**Ces coûts permettent d'aider les prescripteurs à définir l'enveloppe financière de leur projet.**

Type d'ouvrage	Dimension	Condition	Prix unitaire de vente moyen
Gabion boîte	Section (1x 1 ou 1 x 0,5)	<i>in situ</i>	150 à 180 €HT/m <sup>3</sup>
Terramesh System	Hauteur 1,0 ou 0,5 m	<i>in situ</i>	180 à 220 €HT/m <sup>2</sup>
Terramesh Vert incliné à 65° (y compris terre végétale de parement)	Hauteur 0,6 ou 0,75 m	<i>in situ</i>	90 à 120 €HT/m <sup>2</sup>
Matelas de gabion	Epaisseur 0,17/0,23/0,30 m	<i>in situ</i>	30 à 50 €HT/m <sup>2</sup>
Matelas de gabion (préfabrication + pose)	Epaisseur 0,17/0,23/0,30 m	Manutentionn é	100 à 200 €HT/m <sup>2</sup>
Matelas de gabion végétalisé géogrille armée	Epaisseur 0,17/0,23/0,30 m	<i>in situ</i>	40 à 55 €HT/m <sup>2</sup>
Gabion à cellule multiple	Epaisseur 0,5 m	<i>in Situ</i>	40 à 60 €HT/m <sup>2</sup>
Gabion à cellule multiple	Epaisseur 0,5 m	Manutentionn é	120 à 240 €HT/m <sup>2</sup>
Géogrille armée	Epaisseur 10 ou 20 mm	<i>in situ</i>	10 à 20€HT/m <sup>2</sup>
Tunage (pieux bois + grillage)	Hauteur de 0,5 à 1,0 m	Travaux terrestre	100 à 120 €HT/ml

**Une analyse économique de chaque projet reste indispensable pour prendre en compte les spécificités du site.**