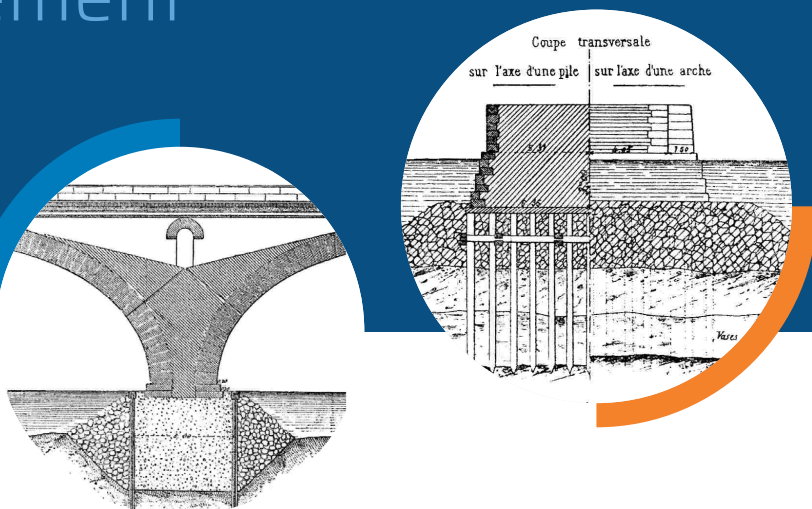


# Protection des appuis par massifs ou tapis d'enrochement



## Présentation

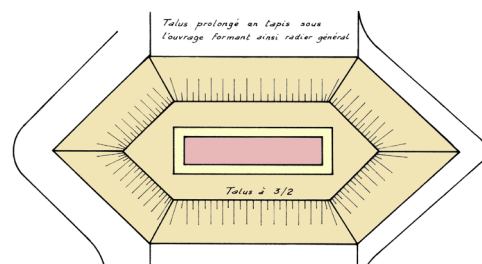
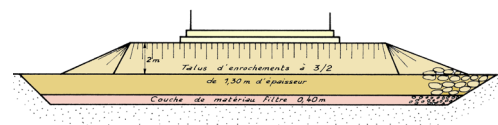
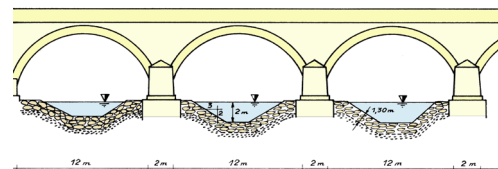
La mise en œuvre des tapis ou des talus d'enrochement au pourtour des fondations est nécessaire pour lutter contre les affouillements des sols et protéger les parties immergées des fondations. La méthode est ancienne, efficace et aussi vieille que les ouvrages.

Les enrochements assurent une protection superficielle du lit, ils comblent les fosses et les cavités, ils présentent une résistance contre les chocs d'embâcles ou de bateaux, ils donnent un encastrement aux appuis et évitent les détériorations par abrasion des pièces de bois de la fondation.

En limitant les circulations des eaux au contact des massifs, les enrochements réduisent la dissolution des chaux.

À la construction de fondations massives en béton de chaux, les talus d'enrochement encastrent les rideaux de vannage et font butée contre la poussée du béton frais. Sur les fondations sur pieux émergeant du lit, les enrochements assurent leur contreventement.

Les massifs de protection en enrochement font souvent partie intégrante de la fondation en assurant la stabilité latérale des pieux au déversement, en protégeant les éléments bois d'origine contre les abrasions et en maintenant l'encastrement des sols au pourtour de la fondation.



## Recommandations

### Modes opératoires

#### ➔ Dimensions des enrochements (FABEM 6.3 chapitre 2.4.1.5)

Pour établir une protection efficace des fondations en site fluvial et respecter les objectifs assignés, les enrochements doivent répondre à de nombreux critères. Les enrochements sont des matériaux élaborés qui demandent que l'on établisse des directives précises de fourniture.

L'enrochement provient de blocs bruts obtenus par abattage au front de taille d'une carrière puis concassés pour obtenir les différentes dimensions présentant toutes les tailles permettant d'élaborer un matériau à blocométrie continue. L'enrochement de protection des sols en site fluvial est un matériau de carrière parfaitement élaboré qui doit répondre à des exigences sévères de calibrage.

Le diamètre du bloc moyen, le  $d_{60}$ , est dimensionné en fonction des deux paramètres que sont la vitesse moyenne du courant de crue et la masse volumique du bloc. Le fuseau blocométrique est à rechercher selon une forme concave présentant un  $d_{60} / d_{10}$  de 6,5 et un  $d_{100} / d_0$  de l'ordre de 10.

#### ● (FABEM 6.3 chapitre 2.4.1.5.2)

Cette note traite des enrochements de protection des sols de fondation d'ouvrages implantés dans les rivières. Ils doivent résister à une eau animée d'un écoulement linéaire. La perte d'énergie de l'écoulement se produit par frottement sur la surface rugueuse de la carapace. En site fluvial, il est recommandé de limiter et même d'éviter les circulations des filets liquides au sein de la carapace. Sous le tapis ou sous le talus d'enrochement, les sols ne doivent pas être soumis aux mouvements d'eau par des courants, par des vortex de crue ou par des phénomènes de surpression-dépression.

#### ● Le tapis d'enrochement doit :

- présenter une surface aussi plane que possible, continue, sans bosse ni trou sur toute la superficie du tapis, la rugosité n'étant obtenue que par les aspérités des blocs ;

- respecter une blocométrie continue du matériau de telle manière que les enchevêtrements soient assurés et que les cavités entre les blocs soient minimales, voire aussi fermées que possible pour garantir un calage naturel des blocs entre eux ;
- rester perméable pour assurer un équilibre des pressions entre la base, l'intérieur et l'extérieur de la carapace afin d'éviter les arrachements des grains du sol ;
- constituer un enchevêtrement à partir de blocs de toutes les dimensions pour présenter une compacité élevée et un fort angle de frottement interne ;
- imposer une masse volumique des blocs la plus dense possible supérieure à  $26,5 \text{ kN/m}^3$ .

L'épaisseur de la carapace doit être de 2 à 3 fois la dimension du bloc moyen.

Pour un talus de pente supérieure ou égale à 2/1, il faut prévoir une butée de pied.

Pour les piles minces, la largeur de la protection sera en moyenne de 1,5 à 2 fois la largeur de la pile sur tout le pourtour de la fondation. Pour les piles épaisses la largeur de la protection est à adapter aux configurations et aux dispositions du lit en adoptant des largeurs de 4 à 6 m environ correspondant aux emprises des courants déviés au pourtour.

Sous les tapis et talus d'enrochement, une couche filtre intermédiaire doit être disposée sur les sols pour éviter l'entraînement des particules fines. Cette couche filtre peut être constituée de matériaux naturels granulaires répondant aux critères de la condition de filtre ou réalisés à partir de géosynthétiques de divers types. Pour des raisons de mise en œuvre un matériau granulaire filtre adapté peut être incorporé directement dans le tapis d'enrochement.

## Recommandations

### Mise en œuvre des enrochements

La mise en œuvre correcte des enrochements nécessite des travaux préalables de terrassement pour réaliser l'encastrement du tapis ou du pied du massif. La blocométrie continue des enrochements se prépare sur site pour ne pas avoir de ségrégation de la fourniture.

La pose des enrochements se fait par volume limité. Les blocs répartis régulièrement selon la blocométrie définie doivent être déposés sans provoquer de ségrégation. Ils sont calés par des opérations de serrage à l'aide du dos du godet et de l'appui de la pelle pour obtenir une surface continue sans creux ni bosse.

Une bonne disposition des tapis d'enrochement au pourtour des fondations est d'adopter en plan une géométrie dont la largeur est égale à deux fois la largeur de la pile. Les débords en amont et en aval respecteront également la valeur de deux fois la largeur de la pile. Le tapis d'enrochement de protection est à encastrier, autant que faire se peut, sous le niveau moyen du lit de la rivière de manière à ne pas faire obstacle à l'écoulement.

Sur des fondations anciennes sur pieux recépés au-dessus du niveau du lit ou sur des massifs de béton de chaux engagés dans un rideau de vannage en bois, les protections sont à maintenir en talus sur tout le pourtour de l'appui.

Ces enrochements ont pour objet d'empêcher l'érosion du lit au pourtour, d'éviter la formation de cavités au contact des fondations et de limiter ou de supprimer les circulations d'eau au contact des massifs de fondation ou sous les platelages et entre les pieux.

Les enrochements doivent former une carapace qui reste perméable. Ils ne doivent en aucun cas être bétonnés, contrairement aux perrés réalisés en enrochements percolés au béton.

Les blocages par déversement de béton entre des blocs à blocométrie discontinue se traduisent toujours par une tenue illusoire sous forme d'une désorganisation de la protection à brève échéance par suite des érosions qui se produisent sous la carapace.

## Recommandations

### Points importants

Les travaux de protection par des tapis d'enrochement nécessitent un minimum de connaissance sur l'hydraulique de la rivière comportant l'examen de l'alimentation du bassin versant du secteur aménagé ou modifié, des levés bathymétriques et une analyse des lois de l'écoulement du cours d'eau dans différentes configurations de débit.

Les massifs d'enrochement mis en œuvre au pourtour de l'appui constituent, par leur masse et leur largeur, un obstacle conséquent à l'écoulement en réduisant la section hydraulique. Ils doivent donc être dimensionnés correctement, tant en blocométrie qu'en géométrie, pour tenir dans le courant et assurer les butées latérales des appuis sans exagération de leur dimension.

La mise en œuvre des enrochements demande beaucoup de soin. Le déversement souvent observé de blocs en vrac ne correspond pas à une mise en œuvre correcte, efficace et pérenne.

De même, le griffage de la surface des matériaux déposés ou le ratisage de celle-ci conduit à des arrachements et des désenchevêtrements néfastes à la bonne tenue du tapis en provoquant de la ségrégation.

Si la blocométrie des matériaux mis en œuvre est trop homogène ou trop grossière avec des gros blocs, des circulations d'eau se produisent entre les blocs et des vortex se développent dans les interstices. Les sols de fondation ne sont plus protégés.

En période de grande crue, les sols de fondation non chargés par les enrochements sont mobilisés et perdent leur portance. Les blocs isolés et les bordures des tapis sont sollicités et peuvent s'ensouiller dans les alluvions devenues mobiles. Par érosion des bordures les talus peuvent devenir instables. Ces massifs et les tapis de protection doivent alors être entretenus par un rechargement en pied pour assurer la butée au talus. Les travaux d'entretien des talus ne doivent pas être pratiqués par un rechargement en haut de talus.

Le niveau haut de la protection doit juste correspondre à la partie supérieure de la fondation. Il ne faut pas monter la protection au-dessus de la ligne d'étiage.

### Normes

**NF EN 13 383 - 1** *Enrochements spécifications* ;

**NF EN 13 383 - 2** *Enrochements, méthodes d'essais* ;

**Protection des sols autour des appuis d'un ouvrage d'art sur la Loire à Nantes** - Jean-Pierre Levillain, Colloque sur la Gestion des Ouvrages d'art de l'ENPC en octobre 1994 - Presses des Ponts et Chaussées ;

**Mise en œuvre d'un filtre géotextile sous 10 à 15 mètres d'eau** - Jean-Pierre Levillain, Colloque francophone - Rencontres Géosynthétiques Bordeaux 12 et 13 octobre 1999 ;

Rock manual - guide enrochement. **L'utilisation des enrochements dans les ouvrages hydrauliques.** Version française du Rock Manual 2<sup>e</sup> édition, CIRIA/CUR/CETMEF 2009 ;

**Les enrochements naturels dans la défense des berges et des fonds autour des piles de ponts. Justification du dimensionnement.** - J-P Levillain, novembre 2013 - Formation PFC.

## Proposition de plan de contrôle

Phases	Points de contrôle	Moyens de contrôle
Préparation	Agrément de la carrière	Contrôle de la géologie du front de taille et de ses caractéristiques structurales (discontinuités, failles, plissements, etc.) Contrôle de la maîtrise de la production pour le marquage CE et pour répondre aux exigences imposées au cahier des charges. Organisation - contrôle et essais - manutention - stockage et conditionnement
Préparation	Agrément des enrochements produits par la carrière	Spécifications requises par la norme EN 13 383-1 Détermination des caractéristiques physiques : masse volumique - état de fissuration - essai de dureté - résistance à la fragmentation - résistance à l'usure et de fragilité - porosité - résistance gel dégel Classe granulaire, caractéristiques géométriques de forme et d'angularité
Travaux	Qualité des blocs	Contrôles de conformité aux caractéristiques imposées
Travaux	Agrément de la procédure d'exécution des enrochements sur le site	Validation du projet de procédure comportant l'homogénéisation du matériau sur site et les principes de mise en œuvre
Travaux	Mise en œuvre de la couche filtre	Contrôles par des levés bathymétriques du site avant travaux et après terrassements préparatoires. Contrôle des épaisseurs minimales de la couche filtre et de son homogénéité en plan et si nécessaire Inspection visuelle sous-marine
Travaux	Exécution des enrochements et de leur mise en œuvre sur site	Contrôle des dimensions géométriques et contrôle visuel de l'état de surface sans trou ni bosse et de la planéité, en fonction des tolérances imposées au cahier des charges Contrôle visuel de la continuité des dimensions des blocs et de l'homogénéité du milieu posé
Travaux	Épaisseur de la carapace	Contrôle de conformité au marché - levés topographiques et bathymétriques et si nécessaire Inspection visuelle sous-marine
Travaux	Angle du talus	Contrôle de conformité au marché - levés topographiques et bathymétriques et si nécessaire inspection visuelle sous-marine
Travaux	Butée de pied	Contrôle de conformité au marché - levés bathymétriques - et si nécessaire Inspection visuelle sous-marine