



MIG MTES

2017

Note technique

Typologie des mesures de protection contre les risques naturels en montagne



Décembre 2017



Direction Forêts et Risques Naturels
Département Risques Naturels
Pôle RTM



Avant-propos

Cette note technique a été rédigée à l'initiative du ministère de la transition écologique et solidaire, suivie par la DGPR/SRNH/BRNT (Direction Générale de la Prévention des Risques, Service des Risques Naturels et Hydrauliques, Bureau des Risques Naturels Terrestres) qui en a confié la rédaction au Département Risques Naturels de l'ONF/DFRN.

Elle propose un classement des mesures de protection contre les risques naturels en montagne selon différents critères : selon les fonctions, selon les matériaux constitutifs.

Rédacteur(s) et validation

Rédacteur principal du rapport	
Nom - Prénom : Carladous Simon Fonction : ONF-DRN, Référent national ouvrages Date : 14/12/2017	

Mots clés : risques naturels en montagne, mesures de protection, efficacité

Photos en couverture :

- gauche haut : barrages de correction torrentielle béton (ONF-RTM 38 ©)
- gauche bas : filets paravalanche acier (ONF-RTM 74 ©)
- droite haut : ouvrage de fermeture de plage de dépôt enrochements (G. Piton, Irstea ©)
- droite bas : écrans pare-blocs acier (ONF-RTM 73 ©)

Sommaire

I.	TYPOLOGIE GÉNÉRALE	4
I.1	MESURES DE PROTECTION INDIVIDUELLE OU COLLECTIVE	4
I.2	MESURES DE PROTECTION ACTIVE OU PASSIVE.....	4
I.3	MESURES DE GENIE BIOLOGIQUE OU DE GENIE CIVIL.....	5
I.3.1	Forêt et rôle de protection	5
I.3.2	Génie végétal, génie forestier, génie civil.....	5
I.4	MESURES DE PROTECTION TEMPORAIRE OU PERMANENTE.....	5
I.5	SYNTHESE	6
II.	CLASSIFICATION SELON LES FONCTIONS ATTENDUES SUR LES PHÉNOMÈNES	7
II.1	PROTECTION CONTRE LES CRUES TORRENTIELLES	7
II.2	PROTECTION CONTRE LES AVALANCHES.....	9
II.3	PROTECTION CONTRE LES CHUTES DE BLOCS	10
II.4	PROTECTION CONTRE LES GLISSEMENTS DE TERRAIN.....	11
III.	CLASSIFICATION SELON LES TYPES DE MATÉRIAUX	13
	BIBLIOGRAPHIE.....	14

I. TYPOLOGIE GENERALE

Les mesures de protection sont des mesures structurelles qui s'appuient sur des infrastructures comme les ouvrages. Par opposition, ou plutôt par complément dans l'arsenal des mesures de prévention du risque, les mesures non structurelles s'appuient sur des actions ne dépendant pas d'infrastructures comme les mesures de l'occupation du sol (PPR), l'alerte pour permettre la mise en sécurité des populations par évacuation ou encore, entre autres exemples, l'information préventive pour améliorer la conscience du risque.

I.1 *Mesures de protection individuelle ou collective*

Comme rappelé dans le guide méthodologique de Plan de prévention des risques naturels, spécifique aux « cours d'eaux torrentiels »¹, il convient de distinguer, dans un premier temps, les mesures de protection dite « individuelle » de celles de protection dite « collective ».

Les mesures de **protection individuelle** sont des mesures structurelles de protection directe des enjeux comme, par exemple, le renforcement des façades d'un bâtiment. La maîtrise d'ouvrage de ces ouvrages est assurée par le propriétaire de l'enjeu concerné.

Les mesures de **protection collective** se basent sur des ouvrages distants, implantés en amont des éléments potentiellement exposés à protéger. Elles peuvent également protéger un enjeu unique comme une route par exemple. La maîtrise d'ouvrage est, à de rares exceptions près, assurée par la collectivité publique.

Toute mesure de protection a pour objectif final de réduire le risque. Pour cela, elle peut avoir pour objectif d'agir sur l'une ou l'autre des composantes du risque :

- une mesure de protection individuelle a pour objectif de réduire la vulnérabilité de l'enjeu au niveau de laquelle elle est implantée, en agissant sur son taux d'endommagement potentiel ;
- une mesure de protection collective a pour objectif d'agir sur l'aléa.

I.2 *Mesures de protection active ou passive*

Parmi les mesures de protection collective et permanente, il convient de distinguer les mesures de protection dite « active » de celles de protection dite « passive ». Elles ont toutes pour objectif d'agir sur l'aléa mais en ayant une action sur des composantes différentes de cet aléa.

Les mesures de **protection active** agissent sur les causes et origines des phénomènes en zone de déclenchement avec pour objectif de réduire leur fréquence d'apparition ainsi que celle de dépassement d'un seuil de magnitude donné. Dans le domaine des avalanches, il s'agit des claies, râteliers ou encore filets. Dans le domaine des mouvements de terrain, il s'agit par exemple des drainages des glissements ou des ancrages et filets de confortement de blocs ou ensemble de blocs. Dans le domaine des crues torrentielles, il s'agit principalement des dispositifs de correction torrentielle.

Les mesures de **protection passive** agissent à « proximité » des zones d'implantation des enjeux exposés pour objectifs de réduire la probabilité d'atteinte et le niveau d'intensité au niveau de chacun de ces enjeux, pour un scénario de magnitude donné. Il s'agit des digues de protection contre les avalanches ou les inondations, des merlons et écrans pare-blocs ou encore des plages de dépôt contre les crues torrentielles.

¹ La référence de ce document n'est pas fournie car il s'agit d'un document en version de travail, en décembre 2017.

I.3 Mesures de génie biologique ou de génie civil

I.3.1 Forêt et rôle de protection

Historiquement, le génie végétal, aussi appelé génie biologique, concernait les opérations de revégétalisation et de reforestation. Elles ont été appliquées dans le domaine de la protection contre les risques naturels dès le XIX^{ème} siècle, dans le cadre de l'application de la politique de Restauration et de conservation des Terrains en Montagne (RTM) (Demontzey, 1882). L'objectif principal d'alors était une protection active en limitant les phénomènes d'érosion à la source et par conséquent l'aléa lié aux crues torrentielles en diminuant la quantité de sédiments présents dans les écoulements à l'aval (Ladier et al., 2012). La forêt peut également avoir un rôle de protection avéré en zone de départ d'avalanches (protection active) mais également dans les zones de propagation des chutes de blocs (protection passive). De fait, la forêt peut avoir un statut officiel de protection contre les risques naturels, même s'il ne s'agit pas de forêts domaniales RTM, défini par décret en Conseil d'Etat après procédure centralisée au Ministère en charge de la Forêt (Ministère de l'agriculture et de l'alimentation - MAA) et peuvent avoir un statut de protection.

Si son rôle de protection contre les risques naturels est avéré, la forêt n'est pas considérée comme une mesure structurelle de protection dans le sens où il ne s'agit pas d'une infrastructure. En ce sens, la forêt n'est pas considérée comme un ouvrage de protection.

I.3.2 Génie végétal, génie forestier, génie civil

Bonin et al (2017, p.43) rappellent que le génie végétal peut être utilisé dans différents domaines dont, entre autres, la lutte contre l'érosion du sol (rôle donné dès le XIX^{ème} siècle) et la protection contre les risques naturels. Ils proposent alors de classer les ouvrages de protection selon trois types :

- le **génie végétal** « rassemble l'ensemble des ouvrages pour lesquels les végétaux assurent une fonction de stabilisation mécanique » ;
- le **génie forestier** « concerne les ouvrages réalisés avec des structures bois (rondins) » ;
- le **génie civil** « concerne les ouvrages réalisés avec des matériaux minéraux (enrochements, grillages, etc.) ».

Si les définitions précédentes proposent une limite nette entre ces trois types d'ouvrages, il apparaît qu'ils peuvent être combinés. Ainsi, des végétaux vivants peuvent être intégrés à des ouvrages bois ce qui forme des caissons végétalisés en protection de berges. Des tripodes en bois peuvent être implantés en zones de départ d'avalanche en étant accompagnés de plantations, leur rôle étant de favoriser le développement de la végétation pendant le temps nécessaire à sa stabilité. Cela rejoint la logique historique indiquée par Demontzey (1882) avec la construction de petits ouvrages et seuils de génie civil (pierres sèches principalement) pour stabiliser les petits ravins et zones en érosion en attendant le développement d'un couvert végétal stable. Une fois ce couvert végétal acquis, ces ouvrages n'auraient plus de rôle particulier attendu.

I.4 Mesures de protection temporaire ou permanente

Les mesures de **protection temporaire** ne peuvent assurer leur fonction qu'à l'aide d'une intervention humaine, réalisée pendant les périodes à risques. Dans le domaine des avalanches, il s'agit des ouvrages de déclenchement préventif comme les Gazex, Catex ou encore Avalhex. Dans le domaine des crues torrentielles, il s'agit, par exemple, de la mise en place de batardeaux de surélévation afin de contenir les eaux dans le cours d'eau principal lors d'une crue. Notons cependant que la rapidité et l'intensité des crues sur les cours d'eau torrentiels limitent l'emploi de tels dispositifs amovibles.

Les mesures de **protection permanente** sont des ouvrages fonctionnant par eux-mêmes dès lors qu'ils sont construits. Précisons cependant que leur fonctionnement dépend d'une intervention humaine, mais généralement hors périodes à risques, pour leur surveillance et leur entretien réguliers qui garantissent le maintien de leur capacité fonctionnelle et donc de leur efficacité. Par ailleurs, des mesures de protection permanente peuvent avoir des durées de vie plus ou moins longues : par exemple, en considérant le respect des règles de l'art en conception et en construction, un ouvrage en bois aura une durée de vie attendue moins longue qu'un ouvrage en béton. La durée d'utilisation attendue doit être établie dès la conception

d'une mesure de protection permanente : qu'on attende une durée d'utilisation de 20 ans, de 50 ans ou de 100 ans, il s'agit toujours d'une protection permanente. Il convient alors de vérifier l'adéquation entre la durée d'utilisation fixée et la durée de vie estimée de la mesure projetée.²

Notons que des ouvrages peuvent être « permanent » mais avec une fonction attendue comme transitoire dans le temps : on rappelle de nouveau le cas des ouvrages de stabilisation de versant dont l'objectif était de permettre, à moyen terme, l'implantation de la végétation. Cet aspect transitoire est alors caractérisé par la durée d'utilisation attendue des ouvrages.

I.5 Synthèse

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents types de mesures de protection établis avec une certaine dichotomie selon différents critères. Ces mesures sont en fait complémentaires dans le cadre de la prévention contre les risques naturels à l'échelle d'un territoire donné comme un bassin de risque :

- les mesures non structurelles qui agissent sur la vulnérabilité du territoire sont complémentaires des mesures structurelles de protection qui agissent sur l'aléa ;
- les mesures de protection individuelle qui permette de réduire la vulnérabilité de chaque enjeu peuvent compléter utilement les mesures de protection collective qui agissent sur l'aléa ;
- les mesures de génie civil peuvent être implantées dans des secteurs où celles de génie biologique ne peuvent pas se développer mais elles peuvent également être implantées avec un objectif temporaire, dans l'attente que le génie biologique atteigne sa pleine capacité (Demontzey, 1882) ;
- les mesures protection temporaires comme le rehaussement d'une digue au moment d'une crue sont un complément pour augmenter, temporairement, la capacité d'une ouvrage de protection permanente comme une digue ;
- les mesures de protection passive peuvent compléter l'ensemble du système de protection à l'échelle du bassin versant où des mesures de protection active ont déjà été implantées, si l'effet de ces dernières est jugé insuffisant.

² Si la durée de vie est inférieure à la durée d'utilisation, il est possible de prévoir, dès la conception, la reconstruction de l'ouvrage ayant atteint la fin de durée de vie au cours de la durée d'utilisation.

II. CLASSIFICATION SELON LES FONCTIONS ATTENDUES SUR LES PHENOMENES

En pratique, des termes sont employés avec plus ou moins de précision et plus ou moins d'homogénéité pour identifier les différents types d'ouvrages. Nous proposons ici des premiers éléments pour les mesures de protection contre les différents types de phénomènes naturels spécifiques aux zones de montagne.

II.1 Protection contre les crues torrentielles

Nous synthétisons ici, sans avoir de prétention exhaustive, les résultats des travaux de Piton et al. (2016, 2017) et Carladous et al. (2016) qui sont complétés par le descriptif des mesures de protection proposé dans le guide méthodologique de Plan de prévention des risques naturels, spécifique aux « cours d'eaux torrentiels »¹.

- Les **dispositifs de stabilisation/consolidation**, sont des dispositifs de protection active qui regroupent des ouvrages communément définis comme seuils et barrages de correction torrentielle, peuvent avoir des fonctions différentes, et parfois multiples pour un dispositif unique, comme représenté sur la Figure 1 :
 - o **stabiliser** le profil en long du cours d'eau et/ou stabiliser le profil en travers et donc les berges ;
 - o **consolider** les versants et ou les glissements **latéraux** ;
 - o **consolider** les moraines et pieds de falaises **amont** ;
 - o **réduire** la pente du lit et l'**énergie** associée ;
 - o **retenir** les sédiments de manière **permanente** ;
 - o **réguler** le **transport solide** ;

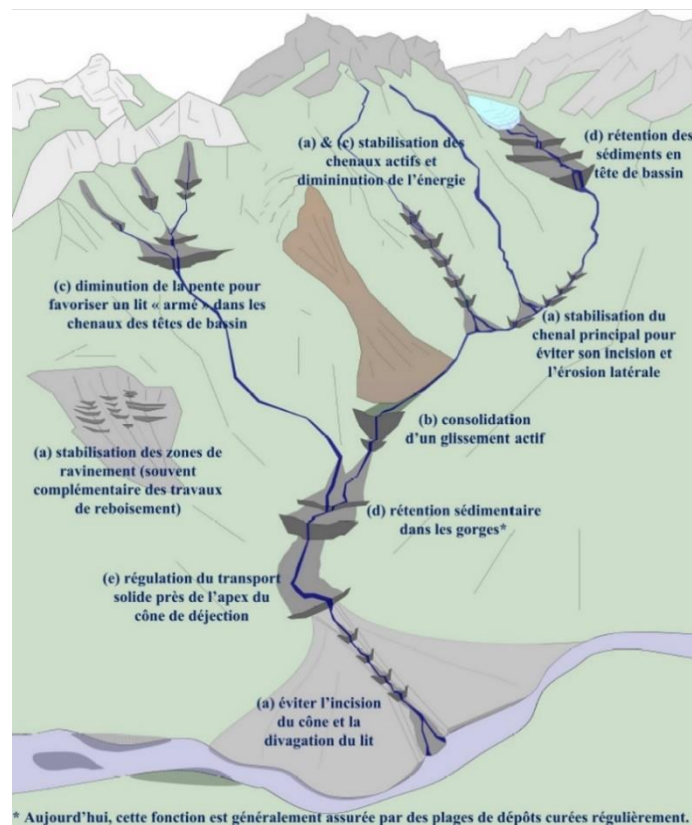


Figure 1. Fonctions détaillées des ouvrages de consolidation/stabilisation (Piton et al., 2016).

- Les **canaux ou tunnels de dérivation** sont des ouvrages de protection active dont la fonction principale est de **détourner** le torrent de son cours initial pour éviter une zone prépondérante d'apport de matériaux comme les terrains en glissement ou particulièrement sensibles à l'érosion. Ces ouvrages ont notamment été implantés en forêts domaniales RTM, au début du XX^{ème} siècle.
- Les **perrés ou radiers longitudinaux** ont pu être implantés comme des mesures de protection active avec pour fonction de **stabiliser le profil en long** du lit du torrent en créant une carapace que l'on souhaite « inaffouillable ».
- Les **dispositifs filtrants**, communément appelés plages de dépôts, sont des dispositifs de protection passive qui s'appuient sur un ouvrage de fermeture et peuvent avoir des fonctions différentes, comme illustré par la Figure 2 :
 - o **retenir temporairement** la charge solide présente dans l'écoulement torrentiel (Figures 2d, 2e) ;
 - o **réguler le transport solide** (Figure 2c) ;
 - o **piéger les blocs** (Figure 2a) ;
 - o **piéger les flottants** (Figure 2b)

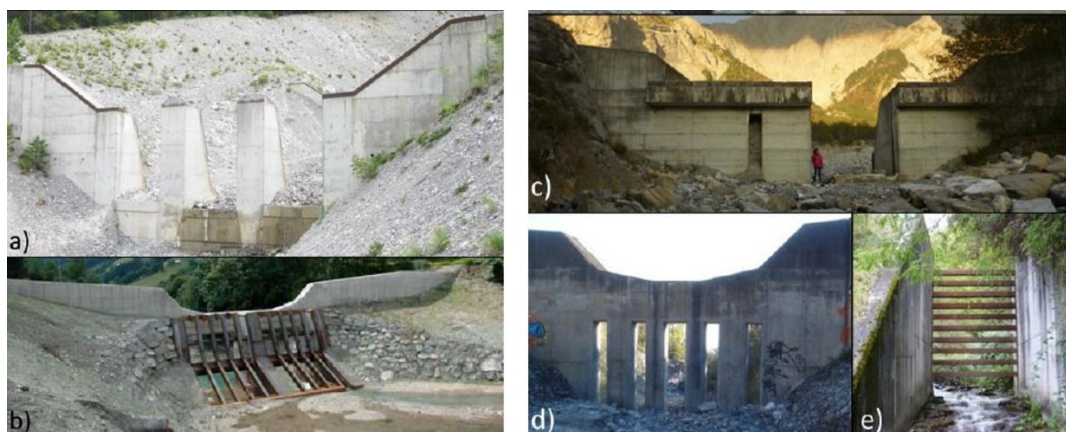


Figure 2. Diversité des typologies et des fonctions des barrages filtrants, fermant des plages de dépôt : a) piège à blocs du Riou Sec de l'Argentière-La-Bessée (05) ; b) piège à flottants de typologie autrichienne sur le Dientencach (Autriche) ; c) ouvrage à fente large de régulation du transport solide sur l'Ebron à Tréminis (38) ; d) ouvrage de rétention à pertuis étroit sur le Manival à Saint-Ismier (38) ; e) ouvrage de rétention à grille sur le Ruisseau de St-Clément à Tours-en-Savoie (73), (Piton et al., 2017).

- Les dispositifs de **chenalisation** et **systèmes d'endiguement** sont des dispositifs de protection passive qui ont pour fonction de **permettre l'écoulement** des eaux (chargées ou non) **sans débordement** et d'**empêcher** la **divagation** torrentielle.
- Les **épîs** sont des ouvrages dont la fonction est de recentrer les écoulements dans le lit.
- Les dispositifs de **protection de berge** sont des dispositifs de protection passive dont la fonction est de **stabiliser le profil en travers** du torrent ou de la rivière torrentielle.
- Les dispositifs de **pavage du fond du lit** ainsi qu'une série de seuils et barrages de stabilisation ont pour fonction de **stabiliser le profil en long** du lit du cours d'eau afin de prévenir son incision³.

³ La stabilisation du profil en long du lit par des barrages et seuils est majoritairement une technique de protection active mais il s'agit également d'une technique de protection passive quand il s'agit d'ouvrages associés à d'autres

II.2 Protection contre les avalanches

La classification proposée pour les deux premières fonctions est reprise de Chaudhary et al. (2006). Les trois autres sont issues de Margreth et al. (2008).

- Les **dispositifs de stabilisation** sont des ensembles d'ouvrages de protection active dont la fonction est d'**assurer la stabilité du manteau neigeux** avec pour principe de transformer les contraintes de cisaillement et de traction qui s'exercent naturellement dans le manteau neigeux en contraintes de compression que le manteau neigeux est à même de supporter. Il existe plusieurs types d'ouvrages de ce type donc deux types se caractérisent par des modes de fonctionnement structural différents :
 - o les *filets* de protection paravalanches sont des ouvrages flexibles ;
 - o les *râteliers et claies*, mais aussi les ouvrages dénommés comme des « ponts de neige », sont des ouvrages rigides ;
 - o on peut ajouter à cette liste les *murs-terrasses* construits initialement dans ces zones de départ d'avalanches.

- Les **ouvrages à vent paravalanches** sont des ouvrages de protection active dont la fonction est de **contrôler le transport de neige par le vent** qui pourrait contribuer à alimenter la zone de départ d'avalanche. Elles sont généralement utilisées en complément des dispositifs de stabilisation. On distingue parmi ces ouvrages :
 - o les *toits-buses* ont pour fonction de dévier et accélérer le vent sous le toit ce qui contribue à assurer un dépôt éloigné de la ligne crête marquée et densifié ;
 - o les *barrières à neige* (ou barrières à vent) ont pour fonction de créer des turbulences qui favorise la diminution de la vitesse du vent près des structures et permet le maintien de la neige transportée par le vent proche de ces structures, implantées sur des crêtes peu marquées ;
 - o les *vire-vent* ont pour fonction de créer une turbulence de vent local qui contribue à former un trou dans la neige ; implantées au bord d'une ligne de crête marquée, ils ont pour objectif de limiter la formation de corniches continues.

- Les **digues de déviation paravalanches** sont des ouvrages de protection passive dont la fonction est de **dériver l'écoulement** de l'avalanche vers des zones sans éléments potentiellement exposés.

- Les **digues d'arrêt paravalanches** sont des ouvrages de protection passive dont la fonction est de **retenir le volume de neige** apporté par l'écoulement de l'avalanche. Cette fonction a une vocation temporaire : soit la neige est enlevée après événement, soit il est attendu qu'elle fonde.

- Les **dispositifs freineurs**, comme ceux qui regroupent un ensemble de tas freineurs, sont des ouvrages de protection passive dont la fonction est de **réduire l'énergie** de l'avalanche en écoulement.

ouvrages passifs, constituant un dispositif de protection comme un dispositif de chenalisation tel un chenal à bief affouillables.

II.3 Protection contre les chutes de blocs

La classification proposée est issue de Guillemin (2009).

- Les **mesures de purge de masses rocheuses** ne sont des ouvrages mais sont des travaux terrassement de protection active dont la fonction est de **supprimer** artificiellement les pierres, blocs et masses rocheuses instable.
- Les **ouvrages de soutènement** sont des ouvrages de protection active dont la fonction est de **stabiliser** artificiellement une masse rocheuse **par la base**, en créant, par exemple, un buton de pied.
- Les **ouvrages de confortement** sont des ouvrages de protection active dont la fonction est de **conforter** une masse rocheuse individualisée, un ensemble de masses rocheuses ou une paroi rocheuse instable, par glissement ou par décollement par rapport à une masse rocheuse stable. On distingue parmi ces ouvrages :
 - o les *ancrages* ont pour fonction de conforter des blocs individualisés : cela s'appuie souvent sur la technique de clouage, actif ou passif, dont la fonction est d'augmenter les caractéristiques mécaniques du massif rocheux en réduisant l'importance des discontinuités qui l'affecte (Vecchio et al., 2004) ;
 - o le *béton projeté* a pour fonction de conforter des parois rocheuses dont la fragmentation est très importante, pour empêcher tout départ de pierres quelles que soient leur taille ;
 - o les *grillages ancrés* ont pour fonction de conforter des parois rocheuses dont la fragmentation est importante, avec présence de pierres de petites tailles, et où la présence d'eau est telle que la réalisation d'un béton projeté n'est pas recommandée ;
 - o les *filets plaqués* ont pour fonction de conforter des parois et ensemble de masses rocheuses de taille importante, pour lesquelles les autres techniques de confortement auraient une capacité limitée.
- Les **drainages des eaux superficielles** sont des ouvrages de protection active dont la fonction principale est d'**éviter l'alimentation en eau de la zone** avec des instabilités de blocs. Ces ouvrages visent à intercepter et collecter les eaux pouvant ruisseler et s'infiltrer en amont de la paroi rocheuse instable puis à les conduire pour les rejeter hors d'une zone à risque.
- Les **dispositifs d'arrêt** sont de protection passive et ont pour fonction de **stopper** les blocs au cours de leur propagation et de les **stocker**. Comme pour les digues d'arrêt paravalanches ou les plages de dépôt à fonction de rétention, une intervention humaine peut être nécessaire pour enlever les blocs après un événement et ainsi rétablir la capacité du dispositif. On distingue parmi ces ouvrages :
 - o les *merlons pare-blocs* stoppent les blocs et ont souvent une fosse de réception amont qui leur est souvent associée pour leur stockage ;
 - o les *écrans pare-blocs* déformables sont capables de stopper des blocs rocheux avec de fortes énergies cinétiques du fait de leur capacité d'absorption de cette énergie ;
 - o les *barrières fixes de grillage ou de filets* permettent de stopper la propagation de pierres ou de petits blocs peu énergétiques.
- Les **dispositifs de réception** sont de protection passive et ont pour fonction de **capter** et de **stocker** des pierres, des blocs isolés ou des éboulements en masse lors de leur propagation. Il s'agit d'un déblai dans le fond. Comme indiqué précédemment, ils sont souvent associés à un merlon pare-blocs.

- Les **dispositifs déviateurs** sont de protection passive et ont pour fonction générale de **modifier la trajectoire** des blocs au cours de leur propagation pour qu'ils atteignent des zones sans élément exposé notable. On distingue parmi ces ouvrages :
 - o les *nappes de grillages ou de filets pendus* sont des ouvrages déflecteurs dont la fonction est de contenir les pierres et blocs se détachant d'une paroi, avec une fonction préalable potentielle de collecte des blocs et pierres provenant du versant amont avec des ouvrages *avaloirs*, pour que leur propagation soit limitée au pied de la paroi ;
 - o les *dispositifs déviateurs latéraux* ont pour fonction de modifier la trajectoire des blocs vers une zone sans enjeux ou vers un ouvrage de réception ;
 - o les *casquettes ou galeries pare-blocs* empêchent directement les blocs d'atteindre un réseau (route, voie ferrée) lors de leur propagation.

- Les **dissipateurs d'énergie** sont de protection passive et ont pour fonction d'**amortir** les chocs causés par les blocs en absorbant une partie de l'énergie dynamique. Ceci peut être assuré par des écrans pare-blocs dont la fonction à la conception n'est alors pas d'absorber toute l'énergie pour stopper mais seulement une partie de l'énergie pour amortir.

II.4 Protection contre les glissements de terrain

La classification proposée est extraite des travaux de Sève et Pouget (1998).

- Les **terrassements** ne sont pas des ouvrages mais des travaux de protection pour lesquels trois fonctions principales peuvent être différenciées :
 - o **rééquilibrer les masses et forces motrices** associées par :
 - des travaux d'*allègement en tête* par déblai ;
 - des travaux de *butée de pied* par remblai, ces derniers permettant aussi de contenir les déplacements de la masse instable ;
 - o **agir sur la géométrie de la pente** par :
 - des travaux de *purge* pour enlever l'ensemble des matériaux glissés ;
 - des travaux de *reprofilage* pour augmenter le coefficient de sécurité de stabilité de la pente ;
 - o **substituer la masse glissée** par :
 - un *remplacement total ou partiel* (bèche, contrefort, éperon, masque) des matériaux glissés par des matériaux de meilleure résistance ;
 - par une *substitution des matériaux en tête* de glissement par des matériaux allégés.

- Les **drainages** sont des ouvrages de protection pour lesquels deux fonctions principales peuvent être différenciées :
 - o **éviter l'alimentation en eau** par infiltration **du massif** en mouvement par des travaux de collecte et de canalisation des eaux superficielles qui visent à limiter les infiltrations
 - o **expulser l'eau présente dans le massif instable** afin de réduire les pressions interstitielles par :
 - des *tranchées drainantes* qui visent à diminuer les pressions interstitielles au niveau de la surface de rupture ;
 - des *drains subhorizontaux* pour diminuer les pressions interstitielles et décharger les aquifères localisés ;
 - des *drainages profonds* (drains verticaux, puits, galeries drainantes), peu fréquemment utilisés, pour couper un aquifère et expulser l'eau gravitairement en

profondeur vers des couches plus perméables ou vers le haut par pompage ou siphonage.

- Les **ouvrages de renforcement** sont des ouvrages de protection pour lesquels deux fonctions principales peuvent être différenciées :
 - o **soutenir le massif** en mouvement pour contenir les déplacements de la masse instable, ceci pouvant s'appuyer sur :
 - des *ouvrages de soutènement rigides* comme des murs poids ou ancrés ;
 - des *ouvrages de soutènement souples* comme des murs cellulaires, en gabions, en remblais renforcés par armatures ou nappes ; ces ouvrages souples sont mieux adaptés aux zones en glissement.
 - o **conforter le massif** par :
 - des *tirants d'ancrage* comme les techniques de boulonnage par barres ou de stabilisation par tirants actifs ;
 - le *clouage des sols* par clous, micro-pieux et pieux ou barrettes.

III. CLASSIFICATION SELON LES TYPES DE MATERIAUX

Nous précisons tout d'abord qu'une classification intermédiaire des ouvrages serait celle selon le type de structure. En effet, un barrage de stabilisation/consolidation torrentielle peut être de type poids ou autostable, entre autres. Nous n'effectuons pas ce classement car nous considérons qu'il s'agit d'un classement qui est propre à chaque type de dispositif, selon les fonctions qu'il a remplir.

Nous proposons ici de nous attarder sur la classification des ouvrages de protection selon les différents types de matériaux constitutifs. En effet, elle revêt une importance particulière lorsqu'il s'agit d'évaluer l'efficacité des ouvrages du point de vue structural et dans la durée. Comme déjà évoqué au paragraphe I.4, la durée d'utilisation est un objectif fixé dès la conception (ou l'état des lieux préalable au suivi des ouvrages) et un ouvrage ne sera efficace que si les matériaux qui le constituent ont une durabilité attendue en adéquation avec cet objectif.

La classification proposée ici est volontairement simplifiée, sachant qu'un ouvrage peut être constitué de plusieurs types de matériaux. Elle s'appuie sur la classification établie en Autriche dans les trois guides de maintenance des ouvrages de protection contre les crues torrentielles (Suda, 2013a), contre les avalanches (Suda, 2013b) et contre les chutes de blocs (Suda, 2013c).

Nous considérons donc les classes de matériaux constitutifs, sans inclure les travaux de terrassement utilisés comme protection contre les chutes de blocs et les mouvements de terrain :

- l'**acier** qui concerne les ancrages, micropieux et plaques et la structure principale de l'ouvrage ;
- le **béton** qui peut être sous forme de *blocs* préfabriqués, *massif et cyclopéen* ou *armé* ;
- la **maçonnerie** qui intègre les ouvrages en *pierres sèches* ou en *pierres hourdées* (à la chaux ou au ciment) ;
- les **enrochements** qui peuvent être *libres* ou *bétonnés* ;
- les **gabions** ;
- le **bois** ;
- les **remblais** qui peuvent être *naturels* (tout-venant) ou *renforcés* ;
- les **matières plastiques**, dont les *pneumatiques*, qui sont rarement utilisées dans ce contexte.

BIBLIOGRAPHIE

- Bonin, L., Evette, A., Frossard, P-A., Prunier, P., Roman, D., Valé, N., Barré, J.-B., Cavaillé, P., Espinasse, F., Liébault, F., Mériaux, P., Vennetier, M., Zanetti, C. (2017). Génie Végétal en rivière de montagne. Connaissances et retours d'expériences sur l'utilisation d'espèces et de techniques végétales : végétalisation de berges et ouvrages bois. Rap. Tech. Projet Européen Interreg France-Suisse, 318 p.
- Carladous, S., Piton, G., Recking, A., Liébault, F., Richard, D., Tacnet, J.-M., Kuss, D., Philippe, F., Quefféléan, Y. et Marco, O. (2016). « Towards a better understanding of the today French torrents management policy through a historical perspective ». In : *3rd FLOODRisk Conference*, Lyon, France, 12 p.
- Chaudary, V. et Singh, G. (2006). « Structural Measures for Controlling Avalanches in Formation Zone ». In : *Defence Science Journal* 56 (5), p. 791-799.
- Demontzey, P. (1882). Ministères de l'Agriculture et du Commerce et des Travaux Publics. Traité pratique du reboisement et du gazonnement des montagnes. Rap. Tech. Paris, France, 528 p.
- Guillemin, P. (2009). LCPC. Guide technique. Maintenance des ouvrages de protection contre les instabilités rocheuses. Pathologies et gestion des ouvrages. Rap. Tech. Paris, France, 67 p.
- Ladier, J., Rey, F. et Dreyfus, P., eds (2012). CRPF, INRA, Irstea, ONF. Guide de Sylvicultures de Montagne Alpes du Sud françaises. Rap. Tech. Paris, France, 302 p.
- Margreth, S., Burkard, A. et Buri, H. (2008). Evaluation de l'effet des mesures de protection contre les dangers naturels pour fonder leur prise en compte dans l'aménagement du territoire – Partie B : Avalanches. Rap. Tech. Bern, Suisse, PLANAT, 51 p.
- Piton, G., Carladous, S., Recking, A., Tacnet, J.-M., Liébault, F., Kuss, D., Quefféléan, Y., et Marco, O. (2016). « Why do we build check-dams? An historical perspective from the French experience ». In : *Earth Surface Processes and Landforms*, 17 p.
- Piton, G., Carladous, S., Marco, O., Richard, D., Liébault, F., Recking, A., Quefféléan, Y. et Tacnet, J.-M. (2017, en cours de revue). « Usage des ouvrages de correction torrentielle et plages de dépôt : origine, état des lieux, perspectives ». In : *La Houille Blanche*, 12 p.
- Sève, G. et Pouget, P. (1998). LCPC. Guide technique. Stabilisation des glissements de terrain. Rap. Tech. Paris, France, 97 p.
- Suda, J. (2013a). BLFUW. Schutzbauwerke de Wildbachverbauung – Handbuch zur Durchführung einer Bauwerkskontrolle. Rap. Tech. Vienne, Autriche, 135 p.
- Suda, J. (2013b). BLFUW. Permanenter technischer Lawinenschutz – Handbuch zur Durchführung einer Bauwerkskontrolle. Rap. Tech. Vienne, Autriche, 127 p.
- Suda, J. (2013c). BLFUW. Technischer Steinschlagschutz – Handbuch zur Durchführung einer Bauwerkskontrolle. Rap. Tech. Vienne, Autriche, 125 p.

ONF / Direction Forêt et Risques Naturels
Département Risques Naturels
Pôle RTM
9 Quai Créqui - CS 20028
38026 GRENOBLE cedex 1
Champ de certification «cœur de métier» : iso 9001 et 14001



www.onf.fr