

## Les outils de génie civil dans la lutte contre l'érosion torrentielle

Christian DEYMIER

CEMAGREF, Division Protection contre les érosions,  
2, rue de la papeterie, BP 76, 38402 ST MARTIN-D'HERES cedex

mots-clés : bassin versant torrentiel - érosion torrentielle - correction torrentielle - génie civil

**RESUME.** - La protection des biens et des personnes vis-à-vis des conséquences de l'érosion torrentielle fait appel en grande partie à des ouvrages de génie civil et notamment aux barrages et seuils. Ces ouvrages présentent de nombreuses spécificités liées à leur fonction et aux conditions de leur mise en oeuvre. De nouvelles approches techniques (préfabrication, diversification des formes et matériaux) permettent aujourd'hui une action plus efficace. Celle-ci doit également s'appuyer sur l'acquisition de nouvelles connaissances, en particulier dans le domaine de la mécanique des sols de torrents.

### INTRODUCTION

Dans le cadre de la Restauration des Terrains en Montagne dont la mission a parfois été définie par "l'aménagement de l'espace montagnard en vue de minimiser les risques naturels", la correction torrentielle occupe une place importante. Si les principes qui l'inspirent ont très peu varié en un siècle, il n'en est pas de même de l'occupation du milieu montagnard, de la notion de sécurité et des moyens techniques de son action.

L'approche initiale situait le rôle des ouvrages dans une fonction principale de stabilisation des sols en vue de l'implantation ou de la restauration d'un couvert végétal destiné à ralentir voire à éteindre les phénomènes d'érosion. Sur ce modèle, en un siècle, ont ainsi été implantés plus de 50 000 ouvrages contribuant à la correction de plus de 1 000 torrents du domaine montagnard français.

Le temps et l'expérience ont cependant révélé les limites tant techniques qu'économiques de cette seule approche.

Les deux dernières décennies ont ainsi connu également un fort développement de ce que l'on peut nommer la protection rapprochée. Celle-ci n'a plus pour ambition de s'attaquer aux causes des phénomènes d'érosion mais vise principalement à réduire les conséquences des phénomènes torrentiels en terme de sécurité des biens et des personnes.

Cependant hier comme aujourd'hui, la mise en oeuvre d'ouvrages de génie civil ne constitue pas un but en soi, mais est un moyen de l'action RTM.

## 1 - LES STRATEGIES DE CORRECTION ET LES TYPES D'OUVRAGES ASSOCIES

### 1.1 - Les stratégies de correction

Schématiquement, on distingue la correction *active* et la correction *passive*.

La correction *active* est directement inspirée de l'approche RTM initiale. Elle vise à une modification des causes des phénomènes.

Les buts sont de :

- stabiliser les sols à l'aide de "petit génie civil" (banquettes, terrassement, soutènement, drainage) ;
- modifier les phénomènes d'arrachement et de reprise de matériaux en évitant l'enfoncement et la divagation des écoulements ;
- dissiper l'énergie du torrent et de diminuer sa capacité de transport.

Ces deux derniers objectifs sont obtenus à l'aide de barrages présentant en partie centrale une cuvette déversoir et dont l'implantation "en escalier" (photo 1) obéit à deux règles



Photo 1 : Implantation d'ouvrages "en escalier"

principales. La première est de démarrer la correction au niveau d'un point stable ou rendu stable vis-à-vis de l'érosion, puis de poursuivre l'implantation des ouvrages suivants en remontant le talweg afin de prendre en compte le caractère régressif de l'érosion. La deuxième règle consiste à placer le pied de l'ouvrage supérieur à un niveau inférieur à celui de l'atterrissement résultant du dépôt de matériaux derrière l'ouvrage aval. Ce dernier niveau est évalué à partir de la hauteur des ouvrages, de la distance les séparant et de ce que l'on nomme la pente de compensation.

Cette disposition permet une dissipation de l'énergie des écoulements et conduit progressivement à une modification de la pente du talweg évoluant théoriquement à long terme (en plusieurs générations d'ouvrages) vers la pente d'équilibre du torrent caractérisée par la disparition de tous phénomènes d'arrachement et de dépôt.

La correction *passive* ne s'attache plus aux causes des phénomènes mais au contrôle de leurs conséquences. Celui-ci peut prendre deux formes principales :

- soit une maîtrise du transit des matériaux à l'aide de canaux (photo 2), de digues et de curage des lits afin d'éviter débordements et dépôts dans les zones sensibles ;

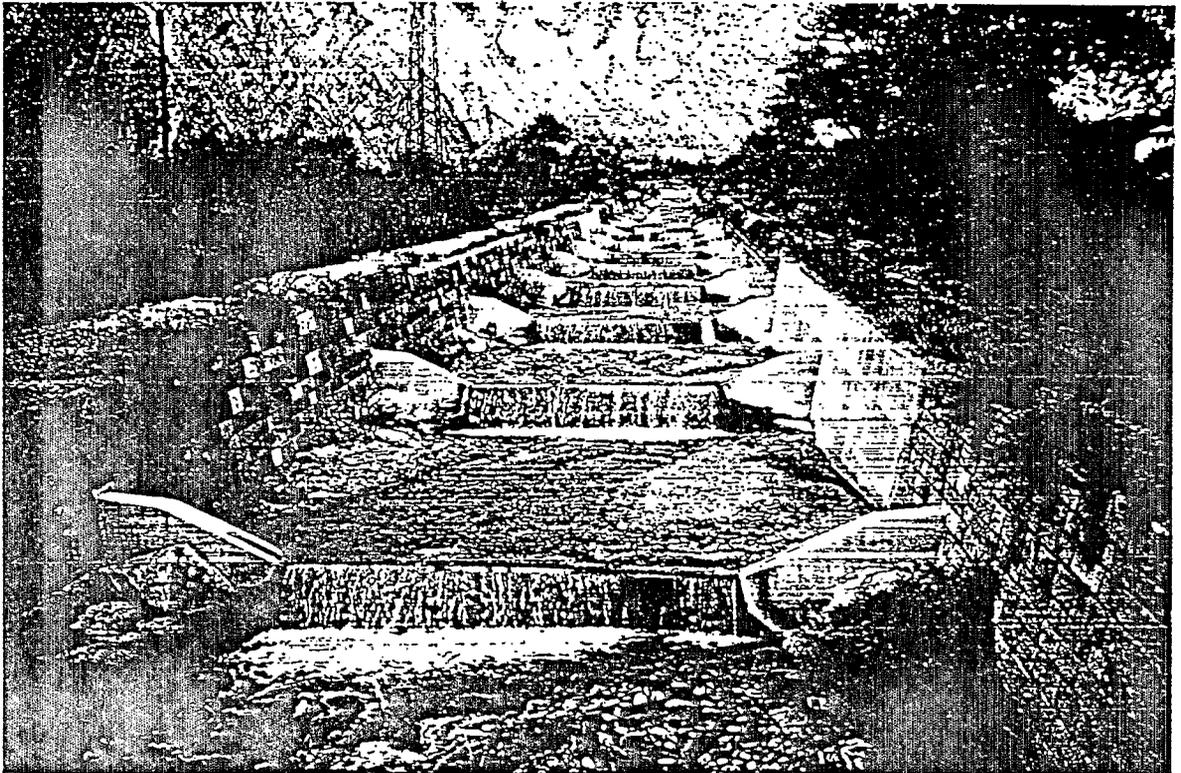


Photo 2 : Canal à biefs affouillables

- soit un stockage des matériaux transportés par le torrent, en amont des zones sensibles à l'aide d'ouvrages de rétention ou de plages de dépôt. La plage de dépôt (photo 3) étant conçue pour autoriser son curage et le rétablissement de sa capacité de stockage après les crues chargées en matériaux.



Photo 3 : Plage de dépôt

On peut observer qu'il n'y a pas d'antagonisme fondamental entre ces deux stratégies de correction.

Si certaines considérations géomorphologiques prédisposent à l'une ou l'autre : stratégie active dans les torrents dits à affouillement, stratégie passive dans les torrents dits à clappes (alimentés par l'altération de falaises), la réalité rencontrée sur le terrain et surtout la programmation et l'urgence de certaines actions conduisent souvent à une complémentarité (la correction active constituant une oeuvre de longue haleine).

A chacune de ces stratégies correspondent cependant des ouvrages de génie civil de conceptions différentes. Nous nous limiterons par la suite essentiellement aux barrages, seuils et plages de dépôt.

## 1.2 - Les types d'ouvrages associés

La correction active met en oeuvre des seuils et barrages. Le type des ouvrages est lié à des considérations économiques et techniques. Une des meilleures classifications possibles est basée sur les conditions d'appui des ouvrages. On distingue ainsi :

♦ les ouvrages simplement posés sur le fond du torrent :

- ouvrage poids,
- ouvrage en L ou T renversé dit autostable,
- ouvrage à stabilisateur arrière,
- ouvrage à contrefort ;

♦ les ouvrages appuyés ou partiellement encastrés sur les berges :

- barrage voûte,
- barrage poutres horizontales ;

♦ les ouvrages appuyés ou partiellement encastrés sur les berges et le fond :

- barrage plaque.

Dans le cadre de la correction passive, les ouvrages de rétention reprennent en général les formes des ouvrages de correction active mais leurs dimensions sont plus importantes (nécessité de constituer un important volume de stockage) et leur caractère perméable doit permettre un tri des matériaux de remplissage en plus du rôle habituel de drainage. Le type d'ouvrage le plus satisfaisant en ce sens semble être un ouvrage à contreforts et à parement constitué de poutres indépendantes.

Les plages de dépôt sont généralement bâties sur le modèle suivant : deux digues latérales en tout-venant protégées partiellement à l'amont par des enrochements délimitent un bassin remodelé en terrassement. Ces digues se referment à l'aval sur un ouvrage central en béton. Celui-ci peut présenter des formes annexes variables mais il y a en général permanence d'une partie en U servant d'arrêt aux digues latérales, de seuil déversoir aval et de support à une grille métallique à barres soit verticales soit le plus souvent horizontales. C'est cette grille qui contrôle la gestion de la plage : remplissage et si possible auto-curage. La nécessité d'un entretien de la plage (enlèvement des matériaux si ceux-ci réduisent par trop sa capacité) peut s'avérer d'un poids financier important. Il est également conseillé de prévoir un seuil d'entrée amont de la plage afin d'éviter l'érosion régressive.

Les types de canaux varient de simples digues en tout-venant, protégées par des enrochements, ou des blocs béton, à des sections totalement bétonnées. Les problèmes d'entretien posés par ce dernier type de solution lui font cependant souvent préférer un fond de canal dit à biefs affouillables.

## 2 - CARACTERISTIQUES DES OUVRAGES

### 2.1 - Choix des ouvrages

Les principaux critères intervenant dans le choix du type d'ouvrage sont :

- sa fonction,
- les conditions de site : largeur, pente des profils en long et en travers,
- la stabilité des berges et du fond,
- les conditions d'accès au chantier,
- la complexité technique.

Le tableau ci-dessous en réalise une synthèse partielle.

	Largeur du lit	Hauteur de chute	Stabilité des berges	Difficulté technique
BARRAGE POIDS	Toutes largeurs	Faible	Bonne, pas de glissements de berges	Faible
BARRAGE EN L	De préférence moyenne ou grande	> 3 m	Faible	Moyenne
BARRAGE A STABILISATEUR AMONT	De préférence moyenne ou grande	> 3 m	Faible	Moyenne à forte
BARRAGE RECTILIGNE	< 6 ou 8 m	Moyenne 3 à 8 m	Bonne	Moyenne
BARRAGE A CONTREPORT	Moyenne à grande	Importante > 8 - 10 m	Bonne	Forte
BARRAGE VOUTE	Plutôt grande	Importante > 8 m	Très bonne	Forte

Les critères économiques sont également pris en compte et conduisent aux conclusions générales suivantes :

♦ pour les ouvrages appuyés sur le fond

hauteur de chute sous cuvette	3 m	8-10 m
Barrage poids	barrage à stabilisateur arrière suivi de très près par barrage autostable	barrage à contreforts

♦ pour les ouvrages appuyés sur les berges

hauteur de chute sous cuvette	3 m	8-10 m
Si largeur du lit < 6 m, barrage poutre sinon barrage poids	barrage plaque (calculé selon la théorie des plaques) puis barrage poutre	barrage voûte surtout si calculé selon la théorie des coques

Pour donner un ordre de grandeur du coût de ces ouvrages, on peut citer les valeurs suivantes :

- le m<sup>3</sup> de béton armé en place (coffré, ferrillé) : de 2 200 à 5 000 F,
- un ouvrage de correction active (5 m à la cuvette) : coût "moyen" de 300 000 F,
- une plage de dépôt : coût "moyen" de 800 000 F.

2.2 - Particularités techniques des ouvrages RTM

Ces ouvrages sont dimensionnés selon une approche globale similaire à celle d'ouvrages de soutènement classiques.

Cependant la nature des efforts auxquels ils se trouvent exposés font retenir des sollicitations de calculs particulières.

Ainsi, des calculs sont réalisés au niveau de plusieurs sections (cuvette, aile) en prenant en compte au moins trois sollicitations ou trois "cas de charge" de natures différentes et qui se rattachent physiquement à des événements se succédant au cours de la vie de l'ouvrage (formation de l'atterrissement, crues, écoulement de laves torrentielles).

Les actions dynamiques : chocs de blocs, chocs de laves torrentielles sur les ailes des ouvrages de correction active ou sur les grilles des ouvrages de plages de dépôt, sont prises en compte mais l'évaluation de leurs intensités est difficile.

Parmi les autres particularités, on peut encore rapidement citer :

- la forme du couronnement des ouvrages de correction active (photo 4) : nécessité d'une pente des ailes, d'une cuvette déversoir correctement dimensionnée et protégée de l'abrasion afin de permettre un contrôle efficace des écoulements ;

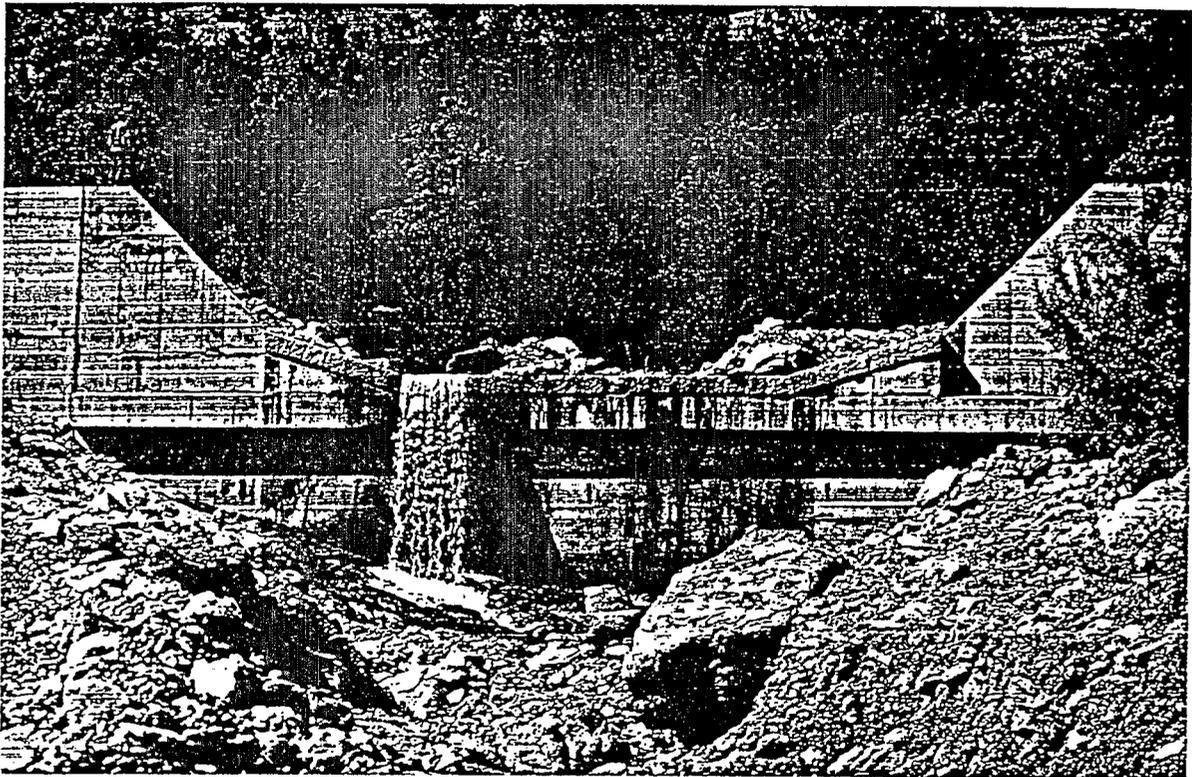


Photo 4 : Ouvrage de correction active

- une épaisseur minimale des ouvrages, un enrobage important des aciers, un choix adapté des liants pour des raisons de vieillissement et de longévité vis-à-vis des cas de charges et des conditions de site ;
- une protection contre l'affouillement : contre-barrage, étude et protection des fosses d'affouillement, parafouille et un drainage des ouvrages efficaces ;
- des conditions de chantiers difficiles.

### 3 - EVOLUTION DES OUVRAGES

Si les torrents les plus dangereux ont, pour la plupart, déjà été fortement corrigés, on se trouve aujourd'hui confronté à la protection de nouveaux enjeux liés à l'aménagement de plus en plus vaste du domaine montagnard.

Les réponses à ces nouveaux problèmes peuvent cependant s'appuyer sur un développement tant scientifique (informatisation des calculs, progrès de l'hydrologie et de l'hydraulique torrentielle) que technique (nouveaux liants, nouveaux matériaux, engins puissants de levage et de terrassement). L'évolution est particulièrement sensible dans deux domaines : la conception et la mise en oeuvre des plages de dépôt et l'appel à la préfabrication des ouvrages de correction active.

Dans ce dernier domaine, on peut citer parmi d'autres expériences : le développement des blocs béton (photo 5) et autres petits éléments préfabriqués en béton, les ouvrages métalliques (banquettes, seuils et barrages), (photo 6). L'utilisation de matériaux de synthèse dans le cadre d'ouvrages de soutènement est apparue au niveau d'une première analyse comme trop coûteuse.

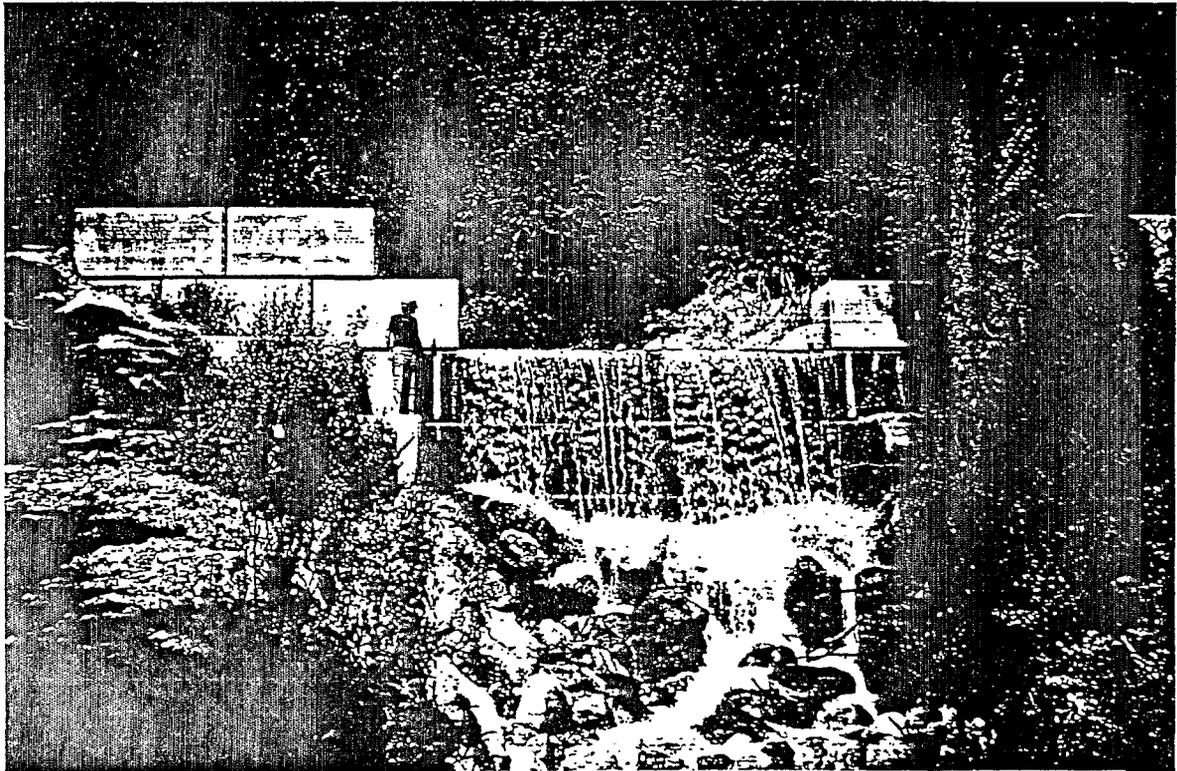


Photo 5 : Barrage en blocs béton

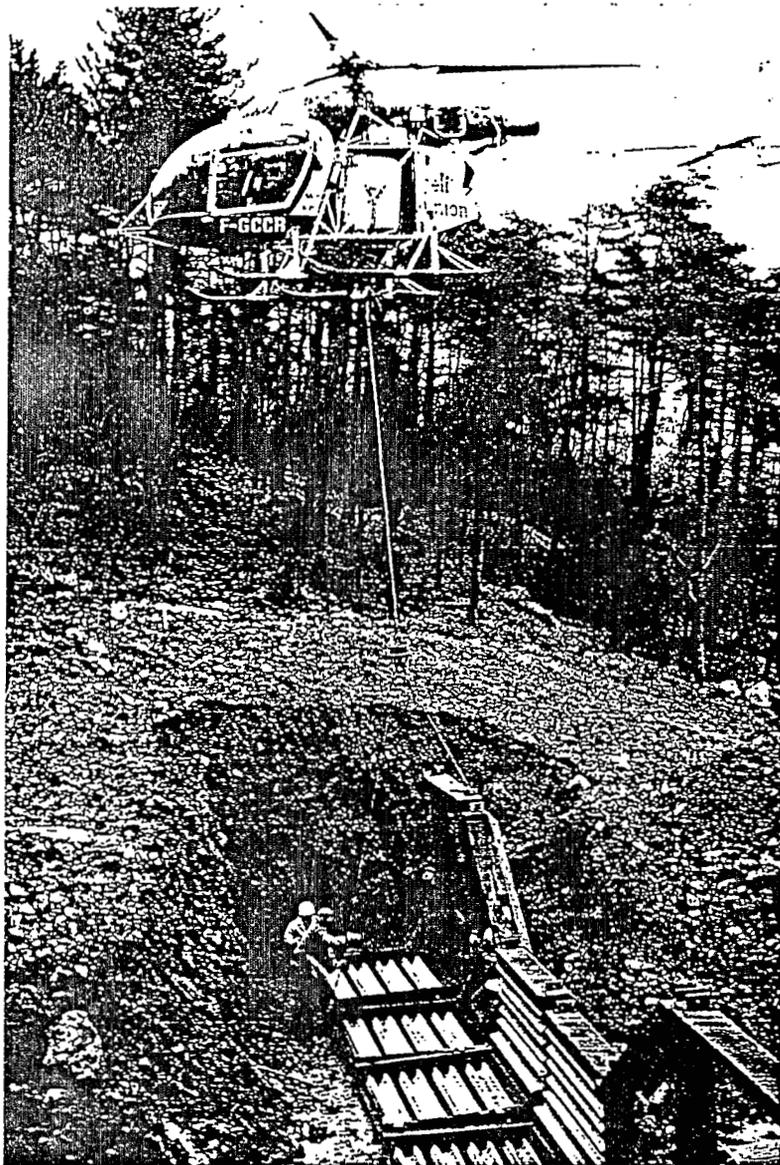


Photo 6 : Montage d'un barrage métallique en éléments préfabriqués

De nouvelles perspectives se présentent : utilisation de ciment de fumée de silice, utilisation de machine à forer en site difficile d'accès pour la réalisation d'ouvrages ancrés, béton compacté au rouleau, conception d'ouvrages en tout-venant renforcé ...

#### 4 - PROBLEMES GEOTECHNIQUES RENCONTRES DANS L'ETUDE DES OUVRAGES

La connaissance des caractéristiques mécaniques des atterrissements et fondations des ouvrages RTM est encore trop limitée. La nature grossière des sols de torrents restreint énormément les possibilités d'essais applicables à ces sols.

Pourtant, la détermination de  $c$  (cohésion), de  $\phi$  (angle de frottement interne) et de  $q_u$  (charge de rupture de ces sols) est nécessaire à tout dimensionnement d'ouvrage.

Si, à ce jour et à ma connaissance, aucun ouvrage n'a été ruiné en raison d'erreur d'évaluation de ces données, ceci est principalement dû à la marge de sécurité prudemment adoptée par les concepteurs RTM. Une telle démarche conduisant à un surdimensionnement des ouvrages présente, sans doute, des avantages indirects de par les problèmes d'évaluation des cas de charge et compte tenu du souci de longévité des ouvrages.

Cependant d'une part :

- les mesures collectées auprès de bureaux d'études géotechniques ainsi que des mesures en laboratoire (grande boîte de cisaillement du laboratoire de mécanique des sols du CEMAGREF d'Aix-en-Provence) et des essais in situ de contrôle qui ont permis d'apprécier la sous-estimation de ces valeurs par les Services RTM,
- le coût des essais possibles en vue d'une meilleure connaissance,

et d'autre part l'aspect économique du surdimensionnement des ouvrages,

plaident en faveur d'une évolution de l'approche actuelle.

Des recherches en vue du développement de nouvelles procédures d'analyses et d'essais de ces sols, d'une meilleure connaissance des limites et capacités des appareils existants (pénétrromètre, pressiomètre et phicomètre) doivent être poursuivies.

Un autre problème important lié à la géotechnique est celui de la conception d'ouvrages de correction torrentielle en site instable soumis à des glissements de berges.

Les forces en jeu dans de tels phénomènes sont énormes et les sollicitations qui en résultent sur les ouvrages empêchent en général l'emploi des solutions classiques. La conception d'ouvrages articulés ou susceptibles de se déformer tout en conservant leurs fonctions constitue un problème non encore convenablement résolu.

## 5 - CONCLUSIONS

L'éventail des possibilités techniques d'intervention en correction torrentielle s'est fortement accru au cours des vingt dernières années et permet des réponses adéquates à la grande majorité des problèmes rencontrés.

L'étude d'ouvrages ancrés et d'ouvrages adaptés aux sites instables devrait encore étendre celui-ci.

La diminution des coûts des travaux, des contraintes et durées des chantiers ainsi que l'amélioration du fonctionnement et de la longévité des ouvrages restent des préoccupations permanentes de la cellule Génie Civil de la division Protection contre les Erosions du CEMAGREF de Grenoble.

Une vision purement technique de la correction torrentielle est cependant insuffisante. Il serait très dangereux de considérer dans le cas de nombreux torrents les résultats comme définitivement acquis ou de penser que l'on peut aujourd'hui aménager l'espace montagnard sans prendre en compte la nature et les risques existants ou conséquents de phénomènes torrentiels sous prétexte d'une "couverture" technique envisageable.

Car, au-delà de la conception et de la réalisation d'ouvrages de correction torrentielle, se posent les problèmes de la gestion et de l'entretien des dispositifs mis en oeuvre, et en deçà ceux de la prise de conscience et de la prévention de ces phénomènes et de leurs conséquences.

**RESEAU  
EROSION**



**Référence bibliographique Bulletin du RESEAU EROSION**

**Pour citer cet article / How to cite this article**

Deymier, C. - Les outils de génie civil dans la lutte contre l'érosion torrentielle, pp. 28-39, Bulletin du RESEAU EROSION n° 12, 1992.

Contact Bulletin du RESEAU EROSION : [beep@ird.fr](mailto:beep@ird.fr)