Zeitschrift: Ingénieurs et architectes suisses
Band: 123 (1997)
Heft: 7

Artikel: Tectonique et digue contre les chutes de pierres à Saleudan (VS)
Autor: Aviolat, Philippe / Médico, James / Tissières, Pascal
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-79110

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 13.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Tectonique et digue contre les chutes de pierres à Saleudan (VS)

Par Philippe Aviolat, géologue, 1858 Plambuit
James Médico, ing. forestier SIA, La Jeurna, 1871 Choëx
Pascal Tissières, Dr ès sciences SIA, Rue Grand-Verger 1, 1920 Martigny

« Saleudan », un curieux nom de montagne ! Bien présente en Valais, avec les Salentin, Salanfe ou Saleinaz, la racine **sal-* est d'origine pré-celtique et devait signifier montagne ou éboulis [1][1]. Comme les Celtes sont arrivés en Valais à l'Age du Fer, vers 700 avant J.-C., le saut dans le temps est vertigineux [2]. Les éboulements et éboulis de Saleudan ont donc profondément marqué la topographie et la toponymie : un cône d'éboulis s'est créé au bas des falaises de Saleudan, au niveau de la plaine du Rhône entre les villages de Dorénaz et de Collonges.

1. Historique

Pendant plus de cent ans, la falaise de Saleudan n'avait pas fait parler d'elle. Au début janvier 1991, des blocs se détachent de la falaise sur les territoires des communes de Dorénaz et de Collonges, à environ 1350 m d'altitude, pour atteindre les vignes et les prés de la plaine du Rhône. Le géologue cantonal, M. Jean-Daniel Rouiller, est alors alerté. La journée de sa visite, le 15 janvier 1991, un volume de blocs de plus de 300 m³ se détache du Saleudan, détruit environ 5 ha de la forêt du Bouèt et la route de Dorénaz – Alesse en plusieurs endroits.

Le tableau 1 résume les événements les plus marquants intervenus depuis lors. On remarquera qu'une fois les problèmes des instabilités rocheuses traités, les éboulis du couloir se révèlent instables sous forme de glissement de terrain et de coulées de boue.

Tableau 1 – Evénements les plus marquants depuis 1991

Janvier 1982-juin 1986 :	Construction de la route Dorénaz – Alesse en trois étapes (route non bitumée)
15.1.1991:	*Eboulement de plus de 300 m³ depuis les parois de Saleudan*
Eté 1991 :	Construction de quatre digues entre 630 et 860 m d'altitude, afin de protéger la route Dorénaz – Alesse
7.4.1993:	*Eboulement de quelques centaines de m³ de blocs*
Juin 1993-avril 1994 :	Travaux de curage à Saleudan par minage (environ 500 m³)
1.6.1995:	*Coulée de boue d'environ 100 m³ se détachant de Saleudan et remplissant les digues. Des blocs isolés contenus dans la coulée poursuivent leur trajectoire jusque dans la Plaine du Rhône.*
Mai-juin 1996 :	Construction d'une digue armée sous la niche d'arrachement du glissement sud-est (altitude : environ 1400 m)
8.7-9.7.1996:	*A la suite de pluies très abondantes, une masse d'environ 1000 m³ se détache. Les matériaux éboulés sont en grande partie retenus par la digue, dont un bloc de 50 m³ et trois blocs de 10 m³. Les deux rangs supérieurs du caisson sont détruits et la route Dorénaz - Alesse obstruée.*
Février-mars 1997 :	Minage de la paroi instable située au sud-est de Saleudan.

2. Géologie

2.1 Description du massif rocheux

La formation rocheuse qui occupe les falaises de Saleudan, ainsi que le couloir du Bouèt, appartient au synclinal permo-carbonifère de Salvan – Dorénaz. L'ensemble est constitué de conglomérats, répartis dans une masse de grès feldspathiques, et de schistes gréseux [3]. Les éléments les plus grossiers atteignent 2 cm. Le rocher possède une couleur lie-de-vin, entrecoupée irrégulièrement de zones vertes.

Le massif rocheux est localement très altéré, à cause de la décomposition relativement rapide des feldspaths en argile. Il forme alors une couche de blocs pierro-gravelo-sablo-limoneux, épaisse de 1 à 4 m environ. Cette couverture alterne avec quelques dépôts morainiques, ou encore avec des éboulis sous les falaises de Saleudan. L'altération du rocher se poursuit beaucoup plus en profondeur, le long des principaux plans de fractures.

2.2 Tectonique

L'histoire tectonique du massif rocheux à Saleudan est liée à deux épisodes orogéniques différents [4] :

- la phase finale de la formation de la chaîne hercynienne au Permien (280-230 millions d'années), qui a provoqué la mise en place du synclinal de Salvan – Dorénaz ;
- la formation de la chaîne alpine de l'Eocène à l'Oligocène (55-25 millions d'années).

Ces mouvements ont provoqué la fracturation du rocher, selon plusieurs familles distinctes de plans de discontinuités. La structure type telle qu'elle a été mesurée à Saleudan est la suivante (fig. 1).

- Stratification
  Plan moyen 135/40 (en degrés)
  Les plans de stratification sont facilement repérables, grâce à la granulométrie changeante des dépôts gréseux entre les différentes couches.
- Failles tardi-hercyniennes
  Plan moyen 125/60
  Les structures, liées à la formation du synclinal de Salvan – Dorénaz, ont été plus ou moins réactivées lors de la phase orogénique alpine.
- Failles alpines
  Plans moyens 145/60 et 330/60
  Ces deux familles de failles conjuguées sont liées à la compression tectonique sud-est/nord-ouest, qui a engendré le soulèvement des Alpes.
  Plan moyen 250/65
  Les déformations alpines sont également à l'origine d'un système de failles très redressées, parallèles à la vallée du Rhône entre Martigny et St-Maurice. L'origine du creusement de la vallée depuis Martigny serait attribuée à ces failles.

On note également la présence de deux familles de diaclases, probablement liées à des mouvements

[1] Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie en fin d'article

Tableau 2 – Comparaison des avantages et des inconvénients des systèmes de protection retenus à Saleudan

	Filets types CAN	Digue armée
Desserte	Pas nécessaire Accès par hélicoptère Interventions manuelles uniquement	Nécessaire Accès par camion Intervention à la pelle rétro lourde 30 t
Chutes de pierres	Très efficace Vidange très difficile **Réparation difficile** Longueur de l'ouvrage plus importante pour bloquer toute la largeur du couloir Absorption d'énergie ≤ 2500 kJ	Très efficace Vidange facile **Réparation facile** Bloque toute la largeur du couloir à un endroit favorable Absorption d'énergie ≥ 2500 kJ
Coulées de boue	Peu efficace	Très efficace Mise en remblai sur place des matériaux du glissement
Stabilisation végétale	Souhaitable en complément	Nécessaire pour assurer la stabilité de l'ouvrage à long terme
Intégration au paysage	Bonne	Bonne
Matériaux	Fer	Bois pris sur place le long du tracé, rajeunissement de la forêt
Durée des travaux	Restreinte Moins de risques pour les ouvriers	Elevée Risques élevés pour les ouvriers (protections détruites à deux reprises)
Main d'œuvre	Entreprise spécialisée	Emploi de l'équipe forestière

tectoniques régionaux du massif rocheux:

Plan moyen: 090/55

Plan moyen: 015/75

On remarque localement la prédominance de discontinuités à pendage élevé, ce qui favorise les glissements superficiels. Le danger d'éboulement de masse (>1 mio m^3) est ainsi réduit. La stratification est rentrante et ne participe donc pas à la déstabilisation du massif. Les agencements structuraux démontrent également que les possibilités de glissements – dièdres sont nombreuses. L'axe des dièdres – donné sur le diagramme de Schmidt-Lambert par l'orientation de l'intersection des plans – renseigne sur les directions de glissements possibles. Le cas le plus défavorable correspond à des axes de dièdres donnant dans le sens de la pente topographique. Cependant, après déverrouillage dû à la chute d'une masse rocheuse, des mouvements sont également possibles dans d'autres directions.

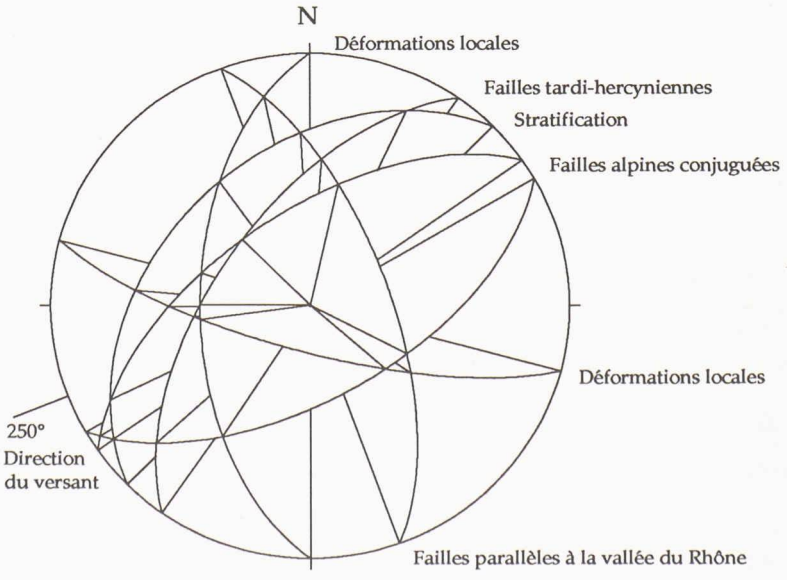


Fig. 1.- Agencement structural du synclinal de Salvan – Dorénaz (diagramme de Schmidt-Lambert, sphère supérieure)

3. Concept de protection de la route

Nous avons longuement hésité sur le choix du type de protection de la route le plus efficace et le mieux adapté (tableau 2). Les éboulements de Saleudan nous avaient démontré qu'il était difficile et onéreux de stabiliser une paroi sans disposer d'accès: les interventions étaient souvent difficiles, voire impossibles, en raison des conditions météorologiques, le brouillard s'accrochant volontiers à ce versant.

Nous avons opté pour la solution d'une digue armée, placée directement sous la niche d'arrachement principale. Elle présentait par rapport au filet l'avantage de retenir non seulement les blocs, mais également les coulées de boue. Elle permettrait en outre d'entreposer les matériaux sur place ou de les

évacuer par camion, grâce à la piste d'accès.

4. Dimensionnement d'une digue non armée

Les phases préalables sont les suivantes :

- détermination des altitudes des niches d'arrachement,
- détermination des tailles des blocs par niche d'arrachement,
- trajectographie,
- choix de l'emplacement de la digue.

On arrive ainsi à fixer au point choisi :

- l'énergie totale d'un bloc *Et*
- sa vitesse de translation *v*
- sa masse *m*
- sa taille *ex*, *ey*, *ez* (fig. 2).

L'énergie totale du bloc se décompose en énergie cinétique de translation et en énergie de rotation. Comme l'énergie de rotation a un effet stabilisant, nous ne tiendrons compte que de l'énergie cinétique.
On écrit l'équilibre des forces :

$$\frac{\text{Energie cinétique du bloc } E}{\text{Distance de freinage } b} \cdot \cos\alpha$$

= force de freinage
= cisaillement du corps de la digue

α = angle d'incidence du bloc par rapport à la base de la digue

Force de freinage

La force de freinage *F* est égale à la masse multipliée par la décélération *a*. Cette décélération ne dépasse pas 50 $m.s^{-2}$ si la digue est déformable. On en déduit la distance de freinage, qui correspond au déplacement du corps de la digue :

$b = \frac{1}{2} at^2$ où *t* est le temps.

On admettra en première approximation que la vitesse diminue linéairement pendant l'impact. On obtient ainsi la distance de freinage :

$$b = vt/2 = v^2/2a$$

Cisaillement du corps de la digue

Le cisaillement du corps de la digue représente le terme de résistance de la digue à l'impact. Comme seul le terrain situé en face du bloc est sollicité, la loi de Coulomb est applicable sans tenir compte de l'inertie de la digue.
Le cisaillement du corps de la digue comprend deux termes :

- le cisaillement de la base de la digue *Cb*
- le cisaillement des côtés de la digue *Cc*.

$$Cb = V \cdot \gamma \cdot \text{tg}\varphi + c \cdot Sb$$

où

V = volume de la digue affecté par l'impact du bloc = $Sc \cdot ez$
γ = poids volumique apparent humide de la digue
φ = angle de frottement interne du matériau de la digue (valeur prudente selon SIA D064)
c = cohésion du matériau de la digue (valeur prudente selon SIA D064)
Sb = surface de la base de la digue cisaillée par le bloc = base · *ez*
Sc = surface latérale enchâssant le bloc

$$Cc \cong 2(\gamma \cdot h^2/4 \cdot d \cdot Ko \cdot \text{tg}\varphi + c \cdot Sc)$$

où

h = hauteur de la digue jusqu'à la base du bloc (fig. 2)
d = largeur de la digue sur laquelle s'exerce la poussée des terres ≅ demi-base de la digue
Ko = poussée au repos contre le bloc = $(1 - \sin\varphi)$

Certaines simplifications ont été nécessaires.

1. Il est illusoire de tenir compte de l'énergie de compaction de la digue lors de l'impact du bloc, car le corps de la digue comporte souvent des blocs qui répartissent les efforts dans l'entier de celle-ci. De plus, on construit parfois le parement amont en enrochement car le terrain peut être trop raide pour recourir à la pente traditionnelle de 2:3.
2. L'amont de la digue est conçu pour éviter la percolation d'eau de ruissellement au travers de la digue (présence d'un drain ou pente de la tranchée amont permettant les écoulements d'eau).
3. On choisit comme distance de freinage du bloc dans la digue une valeur compatible avec la topographie du site. Cette valeur atteint au maximum la largeur de la digue (= destruction totale de la digue). Seule une représentation graphique de l'état déformé permet de se rendre compte si le choix effectué est judicieux.

Application numérique (fig. 2)

E = 2500 kJ (donnée trajectographique)
m = 12,5 t (donnée trajectographique) ($ex = ez = ey = 1{,}7$ m = h)
v = 20 $m \cdot s^{-1}$ (donnée trajectographique)
α = 0 (donnée trajectographique)
γ = 21 kN/m^3
φ = 35°
c = 4 kPa
b = 4,4 m (a = 45,4 $m \cdot s^{-2}$) (compatible avec la topographie)
F = 2500/4,4 = 568 kN

Cette force nécessite les dimensions suivantes de la digue :

Sc = 13,1 m^2
V = 13,1 · 1,7 = 22,3 m^3
Sb = 8,0 · 1,7 = 13,60 m^2
d = 8,0/2 = 4,0 m
Cb = 327,8 + 54,4 = 382,2 kN
Cc = 2·(36,7 + 52,4) = 178,2 kN
$Cc + Cb$ = 382,2 + 178,2 = 560,4 ≅ 568 kN e.o.

5. Dimensionnement d'une digue armée

Lorsque l'énergie totale des blocs dépasse largement les 3000 kJ, il faut renforcer la digue avec des caissons en bois, de préférence du mélèze, si le bois n'est pas recouvert de terre.
Le mode de rupture a pu être testé à Saleudan avec un bloc de 50 m^3 (130 t) ; c'est le cisaillement et non la flexion qui est prépondérant. Les barres d'armatures ont été tordues et arrachées hors des billes de bois, de manière comparable à

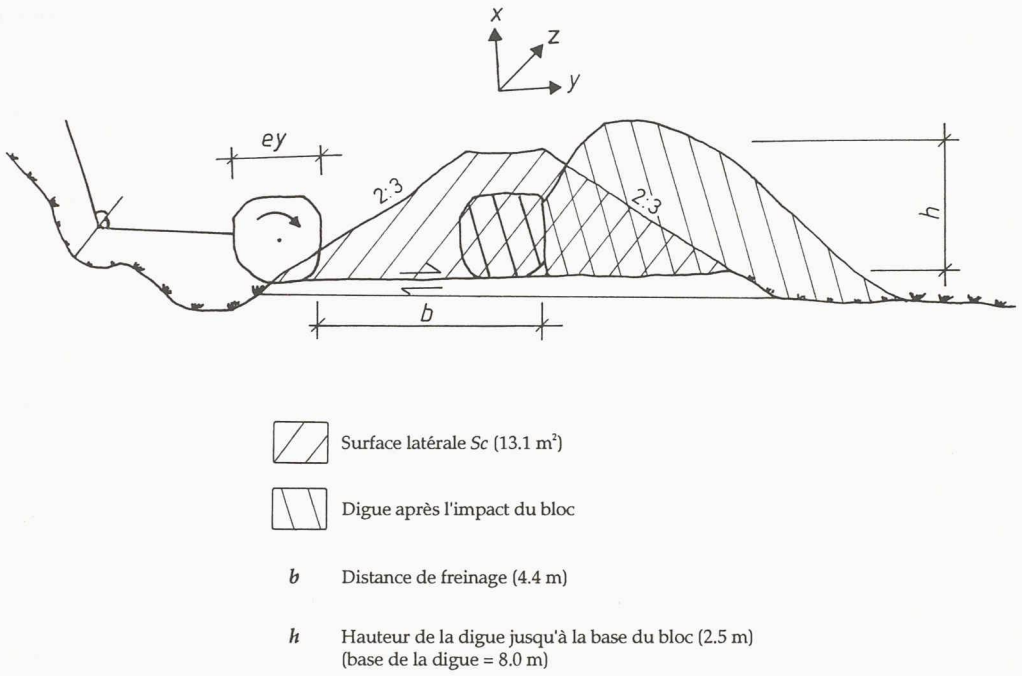


Fig. 2.- Exemple de digue non armée

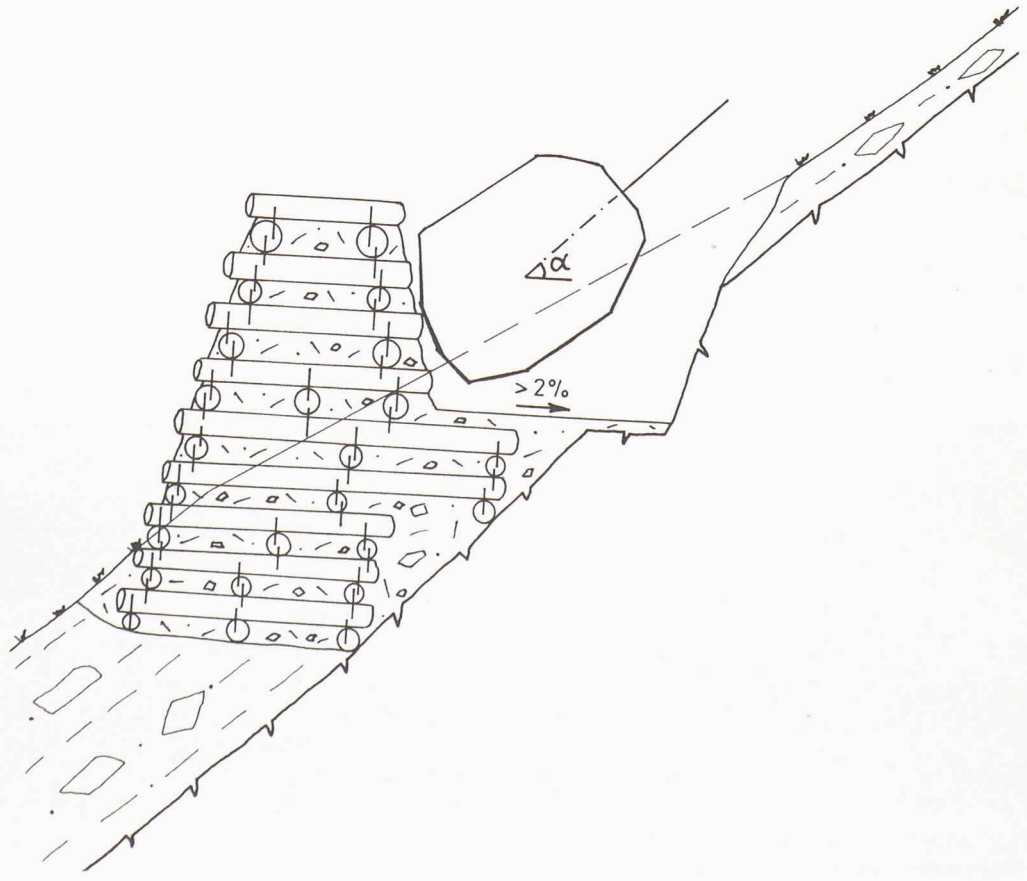


Fig. 3.- Exemple de digue armée

la déformation des clous en rocher [5]. C'est la contrainte de cisaillement du bois qui a été déterminante, car les aciers n'ont pas été sectionnés.

L'équilibre des forces devient ainsi :

$$\frac{\text{Energie cinétique du bloc } E}{\text{Distance de freinage } b} \cdot \cos\alpha$$

= cisaillement des attaches du caisson en bois *Cb*

α = angle d'incidence du bloc par rapport à la base de la digue

La distance de freinage *b* est ici beaucoup plus faible que dans le cas de la digue non armée. L'impact est ressenti comme un choc élastique arrachant les armatures du caisson et comprimant les billes de bois. Les troncs doivent donc être choisis les plus long possible. A leur extrémité, la taille mi-bois est la seule permettant la transmission des forces. Les tailles ne devront donc pas être placées dans un même plan vertical. Pour que l'ensemble du caisson soit sollicité, il faut admettre que le bloc pénètre au plus sur la demi-largeur du caisson.

Une bonne partie de l'énergie est détruite verticalement par flexion et par écrasement des troncs. Il est donc impératif que les troncs aient un diamètre moyen supérieur à 30 cm. Les barres d'attache en acier auront au moins un diamètre de 12 mm, ne serait-ce que pour pouvoir les battre dans les troncs.

Le cisaillement du caisson *Cb* s'écrit :

$$Cb = n \cdot \tau b \cdot \pi \cdot \varnothing \cdot D \cdot Cf$$

où

n = nombre d'attaches arrachées

τb = contrainte de cisaillement du bois autour des armatures

$\varnothing$ = diamètre d'une armature

D = diamètre moyen des troncs

Cf = coefficient de frottement tenant compte du remplissage du caisson
= 1,0 (vide) à 2,5 (pierres)

Application numérique (fig. 3)

E = 6000 kJ
(donnée trajectographique)

m = 120 t
(donnée trajectographique)
($ex = ey = ez = 3{,}6$ m $= h$)

v = 10 m·s^{-1}
(donnée trajectographique)
α = 45°
(donnée trajectographique)
b = 0,75 m (a = 66,7 m·s^{-2})
(compatible avec la topographie)
F = 6000·cos45°/0,75 = 5656 kN

Cette force nécessite un caisson aux dimensions suivantes:
n = 40 = (environ 10/m')
τb = 4 MPa (mélèze)
[SIA 164 (1981) p. 63]
$\varnothing$ = 14 mm
D = 0,4 m
Cf = 2
Cb = 40·4000 · π · 0,014 · 0,4 · 2
= 5630 ≅ 5656 kN e.o.

6. Conclusion

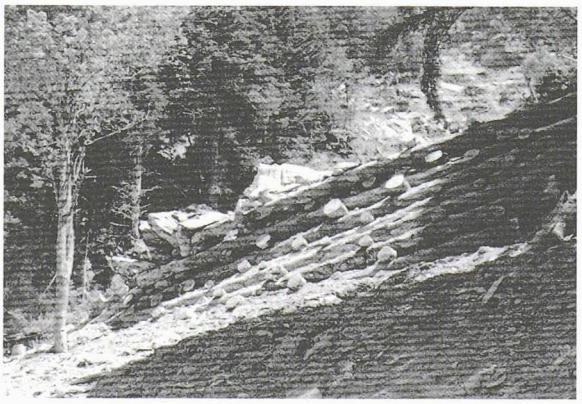
Reposant sur nos observations et expériences, les méthodes de dimensionnement présentées ici ne reflètent pas toute la complexité des mécanismes en jeu lors des impacts de blocs. En la matière, un vaste domaine de recherche reste donc à explorer.

Bibliographie

[1] Wipf, G.R.: «Noms de lieux des pays franco-provençaux» Imprimeries réunies de Chambéry, 343 p, 1982
[2] Guerraty, W.: «Les Celtes, les Suisses et le Valais» Imprimerie Montfort, Monthey, 116 p, 1993
[3] Sublet, P.: «Etude géologique du Synclinal Carbonifère de Collonges-Dorénaz (Valais)» *Eclogae geol. Helv.* 55/1, pp. 23-76, 1962
[4] Pilloud, C.: «Structures de déformation alpine dans le synclinal de Permo-Carbonifère de Salvan-Dorénaz (Massif des Aiguilles Rouges)», thèse, Univ. Lausanne, 1989
[5] Pellet, F. et Egger, P.: «Analytical Model for the Mechanical Behaviour of Bolted Rock Joints Subjected to Shearing», *Rock Mech. Rock Engng.* 29 (2), pp. 73-97, 1996

Remerciements
Nos remerciements vont à l'administration communale de Dorénaz, en particulier à son conseiller communal, M. Henri Revaz, ainsi qu'à l'inspecteur forestier d'arrondissement, M. Roland Métral, pour l'appui qu'ils nous ont témoigné tout au long des travaux. Ceux-ci ont été effectués par les entreprises de génie civil Bochatay & Cie SA, Iannone SA et SABECO SA avec compétence.
A M. Roland Maret, ingénieur, s'adresse notre reconnaissance pour les fructueuses discussions liées au dimensionnement.

L'éboulement de la nuit du 8 au 9 juillet 1996 en trois photographies



Dégâts limités au sommet du caisson; le reste n'a pas bougé.

Volume du gros bloc: 50 m³; volume du bloc coincé: 15 m³. L'ensemble des déblais retenus par la digue est de quelque 800 m³.

Le gros bloc a été miné.