

Contribution à l'évaluation de l'aléa torrentiel dans le bassin versant du Riou Chanal (Alpes-de-Haute-Provence, France)

Contribution to the torrential hazard assessment in the Riou Chanal catchment area (Alpes-de-Haute-Provence, France)

Gilles Garitte*, Philippe Lahousse*

Résumé

Le Riou Chanal est l'un des premiers torrents de France à avoir fait l'objet d'une correction globale (1863-1914). Largement délaissé ensuite, ce dispositif de correction torrentielle est aujourd'hui fortement dégradé. Cette situation suscite des inquiétudes car le village d'Uvernet est entièrement construit sur le cône de déjection de ce torrent. L'étude sollicitée par le service de Restauration des Terrains en Montagne vise donc à préciser cette menace. Elle s'appuie sur une enquête historique, un inventaire des détériorations subies par les ouvrages de correction torrentielle, et une analyse géomorphologique ayant pour objectif de préciser les zones de contribution potentielle à une lave torrentielle. Il en ressort qu'en dépit d'une instabilité chronique des versants marnieux, le risque de débordement sur le cône de déjection reste limité. Deux arguments essentiels étayent ce diagnostic : d'abord le fort encaissement, de l'ordre de 5 m, du chenal d'écoulement sur le cône de déjection, mais aussi le profil en long du chenal d'écoulement qui, en favorisant l'atterrissement de la charge sédimentaire dans la partie inférieure du bassin versant, réduit le risque d'un apport massif de matériaux jusqu'au cône de déjection.

Mots clés : torrent, risque naturel, lave torrentielle, correction torrentielle, Ubaye, Alpes françaises.

Abstract

The Riou Chanal is one of the first torrents in France to have undergone corrective measures (1863-1914). Today, its regulatory system is extensively damaged. Authorities are worried by this situation because the village of Uvernet is constructed entirely on this torrent's alluvial fan. The purpose of a survey commissioned by the Service de Restauration des Terrains en Montagne has been to assess this threat. This survey is based on historical records, an inventory of damages undergone by works of torrent correction, and a geomorphological approach involved in defining potential areas contributing to the supply of debris flow. The study shows that instability is extensive throughout this catchment area, but the risk of overflow across the alluvial fan remains limited. This diagnosis is based on two essential arguments: a) the channel is confined by steep banks, ca. 5 m deep, on the alluvial fan; b) the longitudinal profile encourages mechanisms of load substitution and so reduces the debris flow hazard before it reaches the alluvial fan.

Key words: torrent, natural hazard, debris flow, torrent regulation system, Ubaye, French Alps.

Abridged English Version

The Riou Chanal is located near the small town of Barcelonnette, in the French Alps. This very steep torrent (average channel slope: 23%) has a small catchment area of 280 ha. The lowest elevation is 1180 m at the confluence with the Bachelard river and the highest altitude is 2662 m at La Tête du Clôt des Morts. On March 25, 1863, a reforestation

perimeter of 173 ha was defined by the Service de Restauration des Terrains en Montagne (R.T.M.), as part of the national policy for the restoration of mountain environments. As from 1874, the reforestation was completed by engineering structures directly in the stream channel. During the next forty years, no less than eighty dams were built, and a dike was constructed on the alluvial fan to protect the village of Uvernet. After World War I, the Riou

Chanal was no longer a priority of torrent correction policy in the Ubaye valley, and as a consequence of this, the torrent regulation system has badly suffered from lack of care: only 13 dams are in good condition, 15 are damaged and the others have disappeared or are ruined. This is a matter of concern for the authorities because the village of Uvernet is constructed entirely on the alluvial fan. A survey was commissioned by the Service R.T.M. to investigate the severity of this situation. In response to the survey, this study, based on historical records, an inventory of damages undergone by works of torrent correction, and a geomorphological approach involved in defining potential areas contributing to the supply of debris flows, shows that instability is extensive in this catchment area. The instability mainly affects the Callovo-Oxfordian marls which occur below 2100 m a.s.l. Slumps and earth-flows are able to rapidly feed the stream channel when exposed to heavy rainfall. The risk of overflow on the alluvial fan, however, remains limited. The two flooding events recorded before intervention by the service de R.T.M. nevertheless underline the efficiency of the torrent regulatory system and support the necessity to restore it. The project is already planned for 10 years (1998-2007), with a budget of 1.2 million euros.

Introduction

Le torrent du Riou Chanal est situé sur la rive droite du Bachelard, un peu avant sa confluence avec l'Ubaye (fig. 1). Il est associé à un petit bassin versant de 280 hectares qui s'étire entre 1180 m et 2662 m d'altitude à la Tête du Clôt des Morts. Les pentes y sont souvent très accusées, tant dans le chenal d'écoulement (de l'ordre de 23 % en moyenne) que sur les versants (supérieures à 40 % sur environ la moitié du bassin). Dès 1863, le Riou Chanal et quelques autres torrents de l'Ubaye vont servir de laboratoire de terrain aux forestiers. Ils vont effectivement y tester les techniques de ré-engazonnement, de reboisement et du génie civil préconisées pour enrayer l'activité exacerbée de torrents autrement plus redoutables, comme par exemple le célèbre Riou Bourdoux (Demontzey, 1894 ; Delsigne *et al.*, 2001). En une cinquantaine d'années, le chenal principal du Riou Chanal va être doté d'un dispositif de correction torrentielle très complet qui, à partir de la première guerre mondiale, va cependant être délaissé et progressivement se dégrader. Or, le village d'Uvernet est entièrement bâti sur le cône de déjection de ce torrent. Le service de Restauration des Terrains en Montagne a donc sollicité une étude visant à préciser le risque de débordement d'une lave torrentielle sur le cône de déjection. Les recherches engagées depuis 1999 sur le

Riou Chanal s'inscrivent donc dans la voie ouverte par les ingénieurs de l'École des Mines de Paris, dont l'objectif est de déterminer les zones source susceptibles d'alimenter les laves torrentielles (Bonnet-Staub, 1998 ; Sorgi-de-Gennaro, 1999). Ici, l'approche géomorphologique a cependant été privilégiée. Couplée à une enquête historique et à un inventaire des détériorations subies par les ouvrages de correction torrentielle, elle contribue à une meilleure connaissance de l'aléa torrentiel dans ce bassin versant.

Un dispositif de correction torrentielle fortement dégradé

Historique de l'intervention RTM et état du dispositif de correction torrentielle

Le Riou Chanal a fait l'objet d'une correction globale qui date de la création même de la Restauration des Terrains en Montagne. Cette intervention a effectivement été engagée le 25 mars 1863 par un décret d'utilité publique, définissant un périmètre de reboisement de 173 hectares (soit environ 62 % de la superficie du bassin versant). Entre 1867 et 1872, l'effort

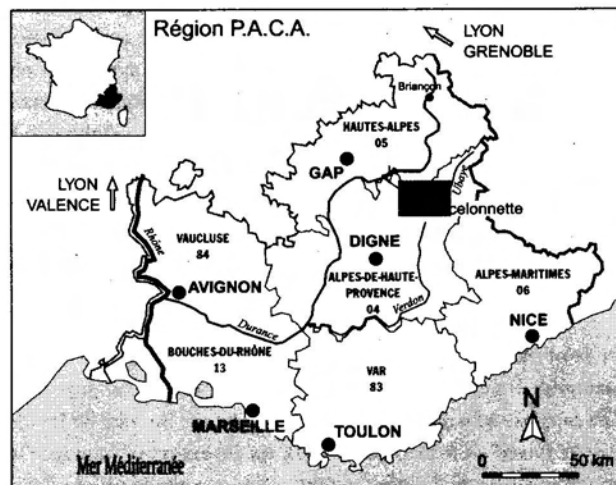
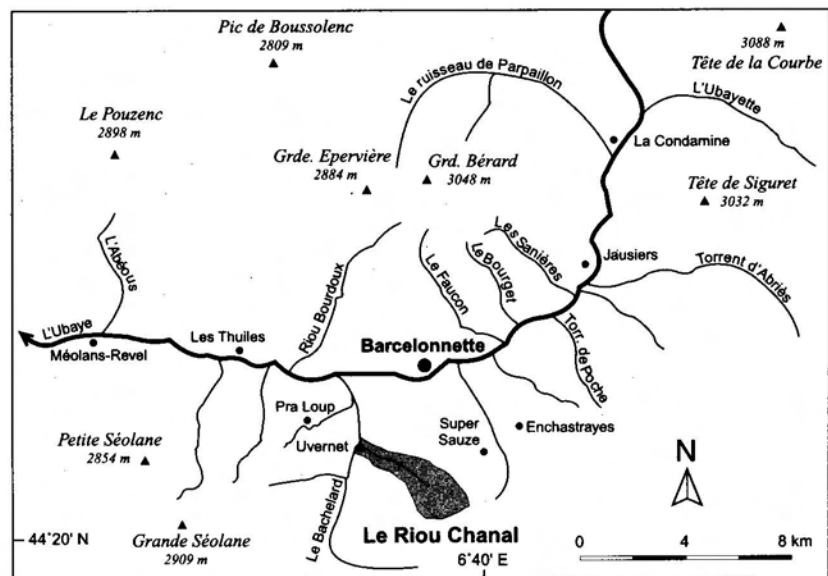


Fig. 1 – Localisation du bassin versant du Riou Chanal.

Fig. 1 – Location of Riou Chanal catchment.



va porter sur la stabilisation des multiples ravines ouvertes dans les marnes callovo-oxfordiennes. Dans ce but, le ré-engazonnement et les plantations de mélèzes vont être associés à l'implantation d'environ 1100 fascines vivants en fagots de saules et de 174 barrages rustiques en pierres sèches (Demontzey, 1894).

En 1874, le premier barrage en maçonnerie est édifié dans la partie supérieure du bassin versant (vers 1840 m d'altitude), immédiatement à l'aval d'une coulée boueuse qui fournissait régulièrement au torrent d'importants volumes de matériaux (barrage Sardi, fig. 2). L'ouvrage ayant prouvé son efficacité lors d'une série de laves torrentielles déclenchées au printemps 1876, les services forestiers s'engagent alors dans un ambitieux programme d'équipement (Demontzey, 1878). Celui-ci comportait une quarantaine de barrages rustiques et seuils en pierres sèches implantés dans le chenal d'écoulement principal, 37 barrages en maçonnerie

et une digue de protection située en rive gauche dans la traversée du village d'Uvernet (fig. 2).

Si deux nouveaux barrages sont venus compléter le dispositif en 1954 et 1970 (quatre autres ayant fait l'objet d'une restauration par voile de béton), l'attention portée au Riou Chanal est largement retombée depuis la première guerre mondiale (Chondroyannis, 1992). De nombreux ouvrages ont été ruinés par le temps et les conditions morphodynamiques difficiles qui règnent dans le lit du torrent. La plupart des barrages rustiques en pierres sèches ont disparu et, sur l'ensemble des barrages construits en maçonnerie ou en béton, onze sont complètement détruits ou à l'état de vestige (fig. 2 et 3). Face à cette situation, et compte tenu des enjeux socio-économiques sur le cône de déjection (14 personnes y habitent en permanence, mairie, garages municipaux, route départementale 902 qui relie les vallées de l'Ubaye et du Verdon par le col d'Allos) le service de Restauration des Terrains

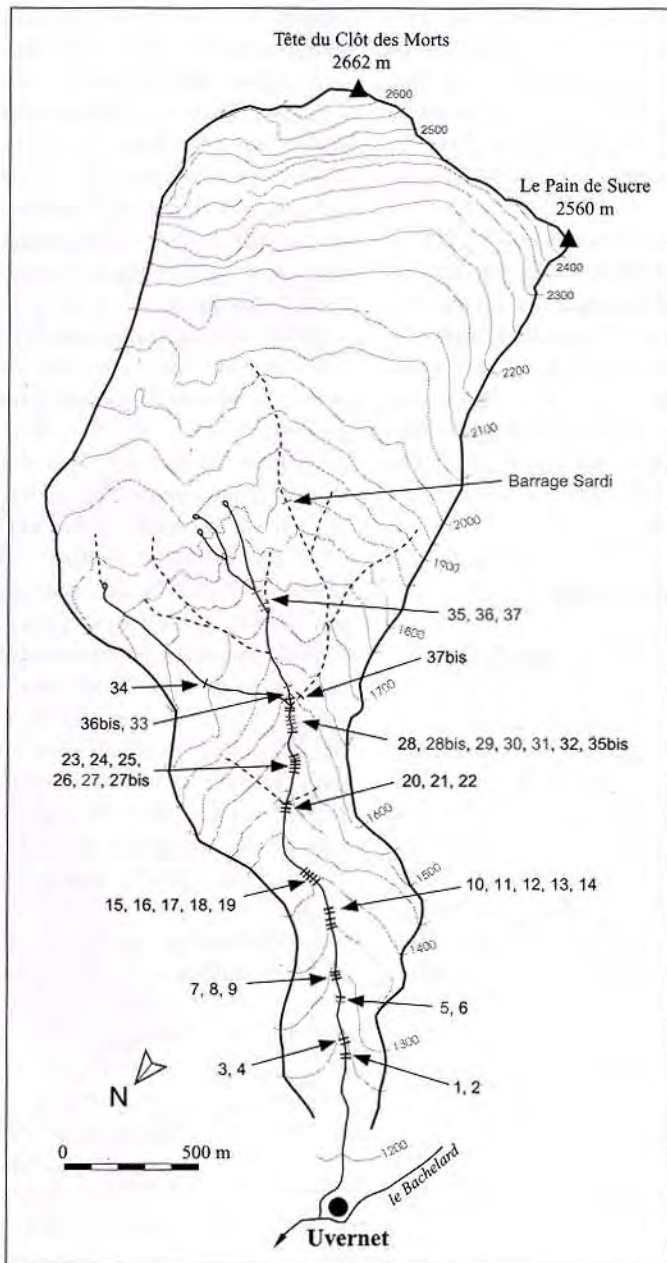


Fig. 2 – Localisation des barrages implantés dans le bassin versant du Riou Chanal.

Fig. 2 – Location of channel regulation works in the Riou Chanal catchment.

Années de construction des barrages
check dam construction year

1874 - barrage Sardi	
1882 - B1 - B2 - B10 - B11	1897 - B9 - B17 - B31
1883 - B3	1911 - B19
1886 - B12	1954 - B32
1889/90 - B4 - B5 - B7 - B13	1969/70 - B28
1891 - B6	2000 - B27 bis
1892 - B8 - B14	2000 - B35 bis - B36 bis - B37 bis
1893 - B15 - B16 - B21 - B24	Année inconnue - B26 - B27 - B28 bis - B29 - B30 - B33 - B34 - B35 - B36 - B37
1894 - B18 - B22 - B25	

— barrage, check dam
- - - vestige de barrage, ruined check dam

en Montagne a estimé qu'il était urgent de réhabiliter et renforcer le dispositif de correction torrentielle déjà en place.

Le projet de restauration

En juillet 2000, le service RTM a engagé les travaux de construction du barrage B.27bis dans la partie médiane du bassin versant (fig. 2). Trois autres barrages viennent juste d'être achevés immédiatement en amont du barrage B.32, pour un coût total de 0,15 M € (B.35bis, B.36bis et B.37bis, fig. 2). Ces ouvrages font partie d'un projet d'aménagement plus ambitieux dont le coût prévisionnel s'élève à 1,2 M € sur une durée de 10 ans. Celui-là envisage l'implantation de sept nouveaux barrages dans la partie supérieure du bassin versant. Il intègre par ailleurs la restauration de quelques ouvrages existants, parmi lesquels figurent les barrages B.26, B.28 et B.34 (fig. 2).

L'effort porte essentiellement sur la section supérieure du chenal, au-dessus de 1500 m d'altitude. C'est en effet dans ce secteur que le dispositif de correction torrentielle est le plus dégradé. Avant la construction des quatre derniers barrages (avant juillet 2000), seulement 25 % des ouvrages étaient encore en bon état et la moitié du dispositif ne subsistait plus que sous forme de vestiges (fig. 2 et 3). Il faut dire qu'au manque d'entretien des barrages, s'ajoutent ici des conditions morphodynamiques très difficiles (affouillement et instabilité des berges), inhérentes à la présence d'un substratum de marnes callovo-oxfordiennes. L'instabilité des versants et l'érosion hydrique qui règnent dans ce secteur du bassin suffisent-elles pour autant à faire peser la menace d'un débordement de lave torrentielle sur le cône de déjection ? L'approche géomorphologique apporte à ce niveau des éléments de réponse qui vont dans le même sens que les conclusions tirées de l'enquête historique.

Évaluation de l'aléa torrentiel

Caractérisation des zones de contribution sur les versants

Le bassin versant du Riou Chanal présente les signes d'une instabilité chronique (fig. 4). Il s'agit là d'une caractéristique assez commune aux bassins versants ouverts dans les "Terres Noires" callovo-oxfordiennes (Légier, 1977 ; Dumas *et al.*, 1987 ; Évin, 1990a et b ; Colas et Locat, 1993 ; Weber, 1994 ; Antoine *et al.*, 1995 ; Weber et Herrmann, 2000 ; Delsigne *et al.*, 2001). Ici, c'est entre 1550 et 2100 m d'altitude que cette instabilité est aujourd'hui la plus déve-

loppée (fig. 4). Les zones contributives aux laves torrentielles correspondent à des glissements rotationnels qui se prolongent généralement vers l'aval par des coulées boueuses. Deux cas peuvent alors se présenter : 1) si le glissement est situé à la tête d'une des branches du torrent, la coulée est canalisée dans le chenal d'écoulement, formant ainsi un stock de matériaux directement mobilisable ; 2) si le glissement est localisé au-dessus des berges, les matériaux sont alors livrés au torrent par affouillement latéral du pied de la coulée.

Situé dans la partie supérieure du bassin versant, vers 1900 m d'altitude, le mouvement de terrain situé immédiatement à l'amont du barrage Sardi correspond au premier cas envisagé (fig. 4, fig. 5A, photo 1). Il s'agit, en effet, d'un glissement rotationnel actif d'un peu moins d'un hectare, associé à une coulée non végétalisée représentant un volume de matériaux compris entre 7000 et 10000 m³. Signalé dès 1873 par le Garde Général Adjoint des Forêts, M. Sardi (Demontzey, 1878), ce mouvement de terrain est marqué par une activité qui s'est prolongée tout au long du xx^e siècle. L'étude dendrogéomorphologique menée à partir de onze mélèzes (*Larix decidua*), selon la méthode décrite par R.R. Braam *et al.* (1987a et 1987b), souligne en effet le caractère persistant des déplacements sur les glissements déclarés dans les marnes callovo-oxfordiennes. Cette approche est fondée sur le calcul d'indices d'excentricité permettant de mesurer la dissymétrie des cernes ligneux de croissance. Les résultats ainsi obtenus sont ensuite filtrés statistiquement par un test de Student afin d'isoler les réponses significatives aux déformations du terrain. Pour chaque année, il suffit alors de calculer le rapport entre le nombre de réponses enregistrées et le nombre total d'arbres échantonnés pour obtenir un indicateur d'activité du mouvement de terrain (fig. 5B). Les résultats obtenus par cette méthode témoignent d'une période de réactivation très marquée qui débute progressivement à la fin des années 1910, pour s'achever brutalement au milieu des années 1930. Le milieu du xx^e siècle et la fin des années 1960 sont également associés à des taux de réponses plus élevés, mais sur des durées nettement plus courtes, respectivement 4 et 2 ans.

Comme cela a déjà été observé sur d'autres secteurs de la moyenne vallée de l'Ubaye (Braam *et al.*, 1987a et b ; Flageollet *et al.*,

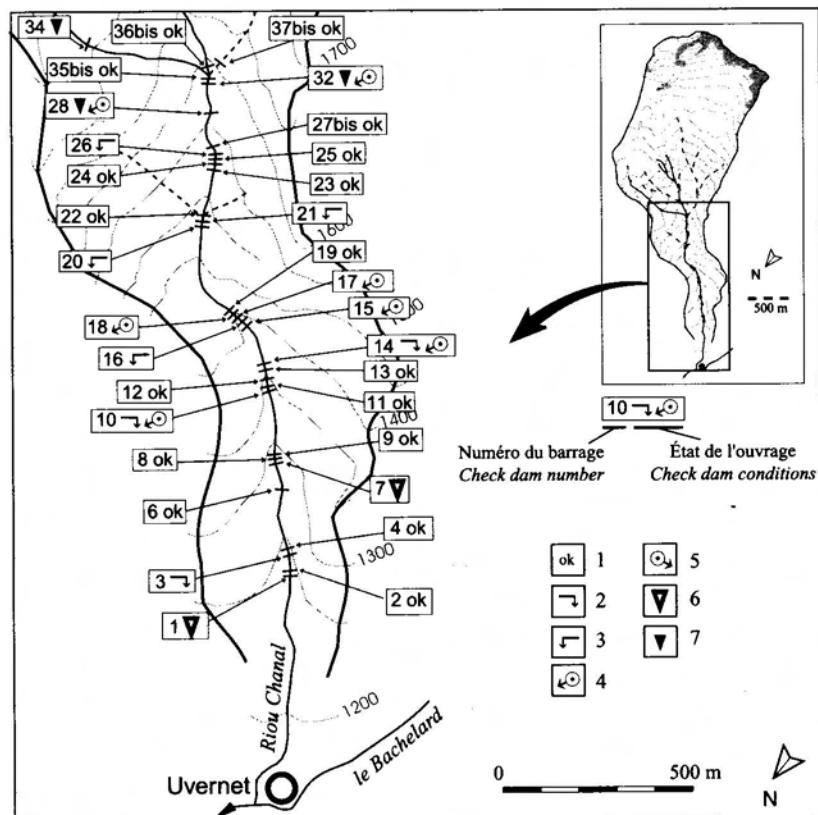


Fig. 3 – État actuel du dispositif de correction torrentielle dans le bassin du Riou Chanal. 1 : bon état général ; 2 : affaissement de l'aile gauche ; 3 : affaissement de l'aile droite ; 4 : glissement en rive droite ; 5 : glissement en rive gauche ; 6 : affouillement à la base ; 7 : affouillement généralisé.

Fig. 3 – Present conditions of the torrential regulation system in the Riou Chanal catchment area. 1: good state; 2: subsidence on the left wing; 3: subsidence on the right flank; 4: landslide on the right bank; 5: landslide on the left bank; 6: undermining; 7: generalized undermining.

1999), il ne semble pas y avoir ici de relation systématique avec les précipitations annuelles (fig. 5B). Ainsi, la plupart des pics pluviométriques de la seconde moitié du siècle (1960, 1963, 1977 et 1979) ne se sont pas traduits par une accélération inhabituelle des déplacements (fig. 5B). L'augmentation des taux de réponse enregistrés, d'une part en 1932 et 1933 et d'autre part entre 1947 et 1951, reflète bien mieux en revanche l'évolution des précipitations durant ces deux périodes. Quoi qu'il en soit, l'analyse dendrogéomorphologique a permis de souligner le caractère persistant de l'instabilité de ce secteur depuis environ un siècle. Il consti-

tue en cela une zone privilégiée de contribution aux laves torrentielles. C'est d'ailleurs ce qui s'est passé dans la nuit du 26 au 27 mai 2000, où quelques milliers de mètres cubes de matériaux prélevés dans la coulée boueuse associée à ce glissement rotationnel ont suffi à initier une lave torrentielle qui s'est propagée jusqu'au groupe de barrages B.16 à B.19 (fig. 2).

Le second type de zone contributive identifiée dans le bassin versant du Chanal peut être illustré par le mouvement de terrain qui affecte la rive gauche du torrent, à la hauteur du barrage B.28 (fig. 2, fig. 6). La poussée latérale exercée par la coulée boueuse associée à ce glissement rotationnel est en grande partie responsable de la destruction des barrages B.28bis, B.29, B.30 et B.31. Aujourd'hui, ce sont les deux barrages en béton B.28 et B.32 qui sont menacés (photo 2). Les déplacements enregistrés à partir de mesures tachéométriques sur 38 repères sont effectivement toujours importants. De l'ordre de 1 à 2 m pour le corps du glissement rotationnel, ils atteignent des valeurs maximales de 3 m sur la coulée boueuse, soit en moyenne 30 cm par mois (relevés effectués en octobre 1999 et juillet 2000). Cette situation n'est pourtant pas exceptionnelle à l'échelle de ce bassin torrentiel puisque cinq autres ouvrages sont également menacés par l'instabilité des versants, ce qui représente au total un peu plus de 20 % de l'effectif

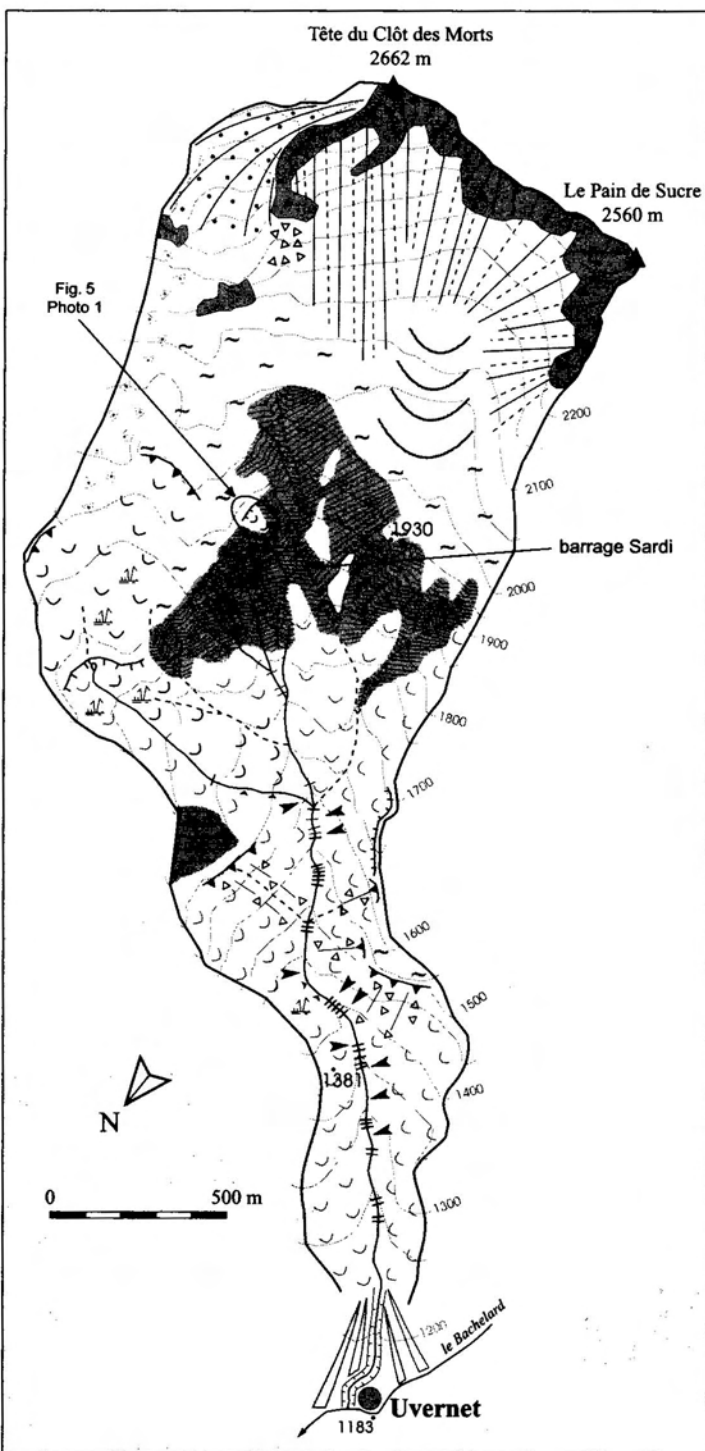


Fig. 4 – Croquis géomorphologique du bassin versant du Riou Chanal. 1 : corniche calcaire ; 2 : replat structural dans les calcaires ; 3 : éboulis vif ; 4 : éboulis vif parsemé de blocs plurimétriques ; 5 : glacier rocheux ; 6 : recouvrement glaciaire ; 7 : écoulement récent ; 8 : écoulement ancien ; 9 : zone menacée par des écoulements et des chutes de blocs ; 10 : niche d'arrachement supérieure à 20 m ; 11 : niche d'arrachement inférieure à 20 m ; 12 : mouvement de terrain ancien ne montrant aucun signe morphologique d'activité ; 13 : mouvement de terrain actif de grande ampleur ; 14 : zone humide sur replat de glissement ; 15 : instabilité ponctuelle des versants ; 16 : berges instables ; 17 : incision du chenal sur le cône de déjection (de l'ordre de 5 m) ; 18 : badlands développés dans les marnes callovo-oxfordiennes ; 19 : cône de déjection ; 20 : barrage (a) et vestige de barrage (b).

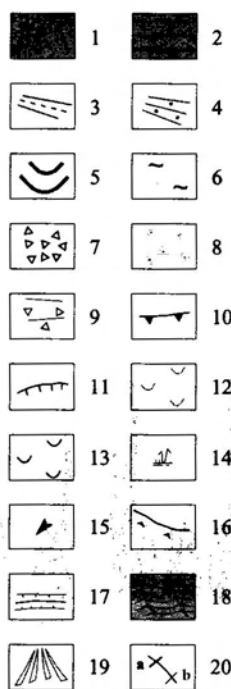
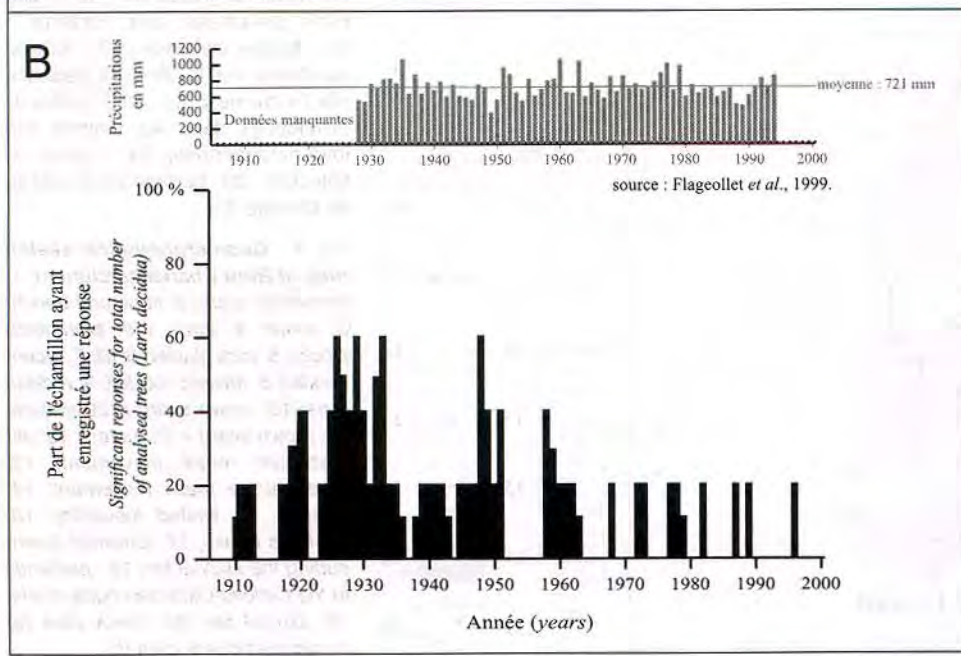
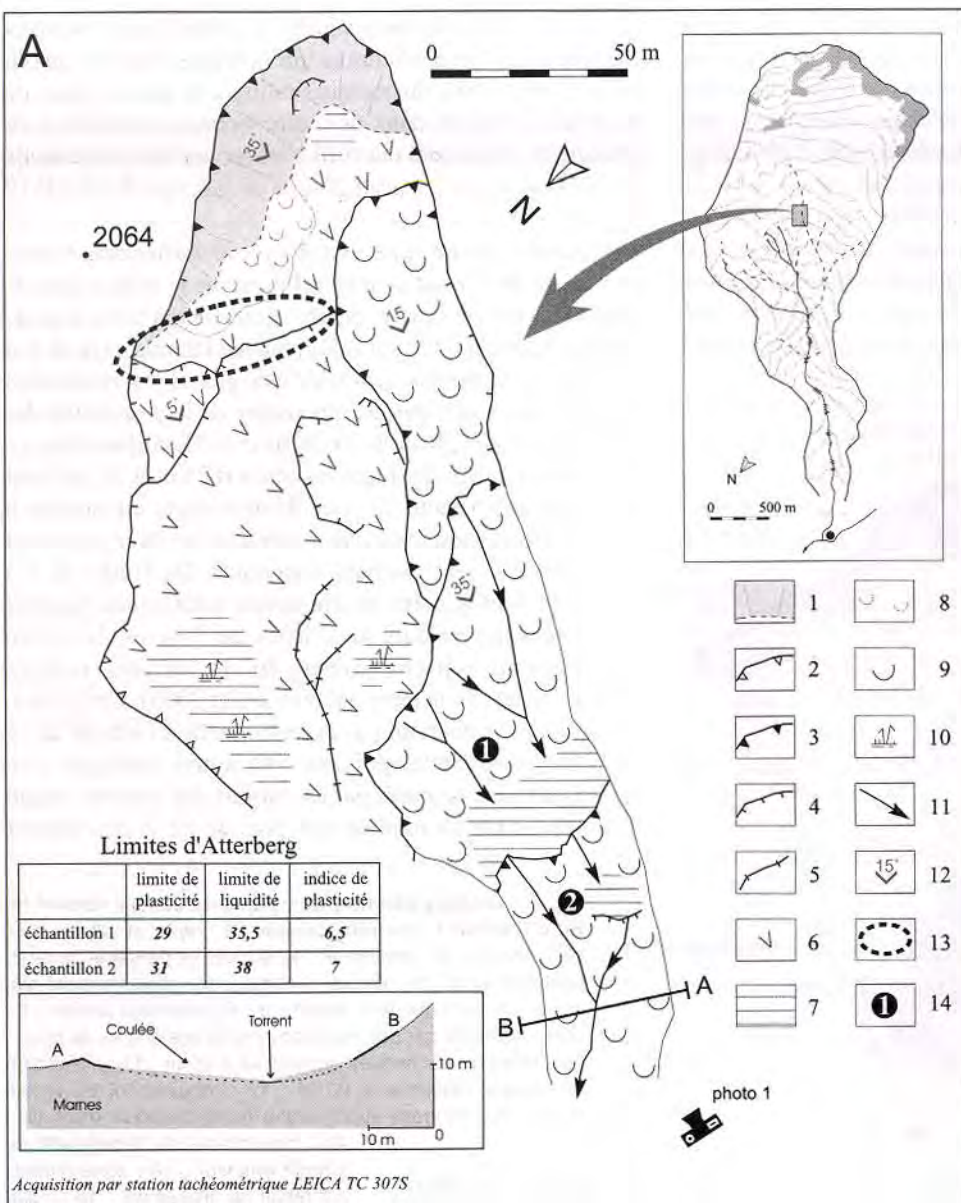


Fig. 4 – Geomorphological sketch map of Riou Chanal catchment. 1: limestone scarp; 2: structural bench; 3: scree; 4: scree with plurimetric blocks; 5: rock glacier; 6: till; 7: recent rockfall; 8: ancient rockfall; 9: rockfall area; 10: crown scarp > 20 meters; 11: crown scarp < 20 meters; 12: old stabilized mass movement; 13: recent/active mass movement; 14: swamp; 15: limited instability; 16: unstable banks; 17: torrential down-cutting the alluvial fan; 18: badlands in the Callovo-Oxfordian black marls; 19: alluvial fan; 20: check dam (a) and ruined check dam (b).



encore en place (fig. 3). Dans un contexte d'évaluation de l'aléa torrentiel, ce site constitue en revanche une zone particulièrement sensible. En effet, les 5 000 à 7 000 m³ de matériaux de la coulée boueuse sont susceptibles d'obstruer complètement le chenal d'écoulement, et ainsi de créer un risque de débâcle brutale (photo 2).

Certes, les zones de contribution potentielle à une lave torrentielle ne se résument pas aux deux sites pris en exemple. Ceux-ci témoignent cependant de la grande instabilité des versants dans cette portion intermédiaire du bassin qui, ajoutée à l'érosion hydrique dans les badlands, font de ce secteur une zone privilégiée pour le déclenchement des laves torrentielles. Cela se traduit-il pour autant par une forte probabilité de

Fig. 5 - L'activité récente du glissement du barrage Sardi.
 A) Croquis géomorphologique. 1 : affleurement de marnes noires callovo-oxfordiennes ; 2 : niche d'arrachement vive (> 5 m) ; 3 : niche d'arrachement végétalisée (> 5 m) ; 4 : niche d'arrachement vive (< 5 m) ; 5 : fissure ouverte ; 6 : zone de glissement rotationnel ; 7 : replat de glissement ; 8 : coulée boueuse végétalisée ; 9 : coulée boueuse active ; 10 : zone humide ; 11 : écoulement permanent ; 12 : pente topographique (en degrés) ; 13 : localisation des mélèzes noirs (*Larix decidua*) ; 14 : localisation des échantillons étudiés (limites d'Atterberg). B) Résultats de l'analyse dendrogeomorphologique.

Fig. 5 - The recent activity of the landslide located near the Sardi's dam.
 A) Geomorphological sketch map. 1: black marls outcrop; 2: crown scarp (> 5 meters); 3: graded crown scarp (> 5 meters); 4: crown scarp (< 5 meters); 5: open crack; 6: landslide area; 7: bench due to landslide; 8: inactive earthflow; 9: active earthflow; 10: swamp; 11: torrent; 12: slope (in degrees); 13: location of larches (*Larix decidua*); 14: location of studied samples (Atterberg's limits). B) Dendrogeomorphological results.

débordement sur le cône de déjection ? L'enquête historique et l'examen des caractéristiques du chenal d'écoulement apportent des éléments de réponse.

Estimation du risque de débordement sur le cône de déjection

De nombreux auteurs ont déjà souligné les limites de l'utilisation des documents d'archives pour reconstituer l'historique de la torrentialité (Fanthou, 1994 ; Lahousse, 1997 ; Sivan, 2000). Le Riou Chanal n'échappe pas à cette règle car il faut attendre l'intervention des services forestiers, au milieu du XIX^e siècle, pour que les crues torrentielles soient systématiquement répertoriées (Arnaud, 1894 ; Mougin, 1931). Les observations deviennent alors à la fois plus exhaustives et plus précises. De cet inventaire plus détaillé, il ressort que plus aucun dégât n'a été enregistré dans le village d'Uvernet depuis la crue de septembre 1860 (tab. 1). Certes, sept laves torrentielles ont bien été répertoriées depuis cette date, mais aucune n'a débordé sur le cône de déjection. La plupart d'entre elles n'ont même pas atteint l'exutoire du bassin versant, limitant ainsi les dégâts aux ouvrages du dispositif de correction. Même la lave torrentielle de l'été 1987, pourtant la plus importante de toutes celles qui sont répertoriées, est restée concentrée dans le chenal d'écoulement jusqu'à la confluence avec le Bachelard.

Conformément à la classification souvent utilisée (Jackson *et al.*, 1987 ; Harvey, 1992 ; Marchi *et al.*, 1993 ; Marchi et Brochot, 2000), le Riou Chanal est donc toujours bien un torrent affecté par des laves torrentielles. Si on s'en tient aux événements passés, la probabilité d'engravement du cône de déjection par une coulée de débris reste cependant limitée. Il faut dire qu'au dispositif de correction torrentielle s'ajoutent plusieurs paramètres naturels qui tendent à limiter les effets des laves torrentielles sur le cône de déjection. C'est d'abord le profil en long du chenal d'écoulement qui, en présentant dans sa partie inférieure plusieurs sections à pente faible, favorise l'atterrissement des matériaux avant leur arrivée sur le cône de déjection (fig. 7). À ce niveau, le secteur compris entre les barrages B.14 et B.15 semble jouer un rôle décisif. Il freine effectivement la progression des laves torrentielles venues de la partie médiane du bassin versant, là où l'instabilité des versants et l'érosion hydrique des marnes callovo-oxfordiennes sont les plus marquées (comme en mai 2000 *cf.* tabl. 1). Cela se traduit, vers l'aval, par un changement brutal de la granulométrie de la charge sédimentaire disponible dans le lit du torrent. D'un dépôt à blocs dominants, on passe à des alluvions essentiellement marneuses, alors que le substratum

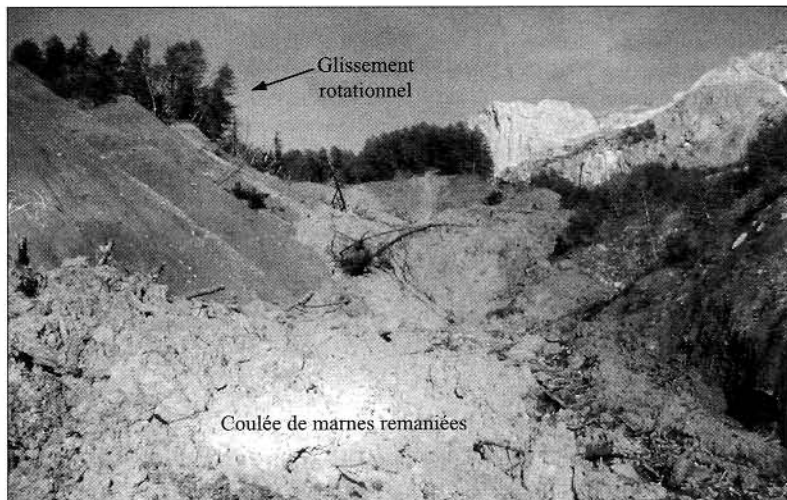


Photo 1 – Coulée boueuse associée au glissement du barrage Sardi (juin 2000). (voir fig. 4 et fig. 5 pour la localisation du site).

Photo 1 – Slump and mudflow near the Sardi dam (June 2000). (see figs. 4 and 5 for site location).

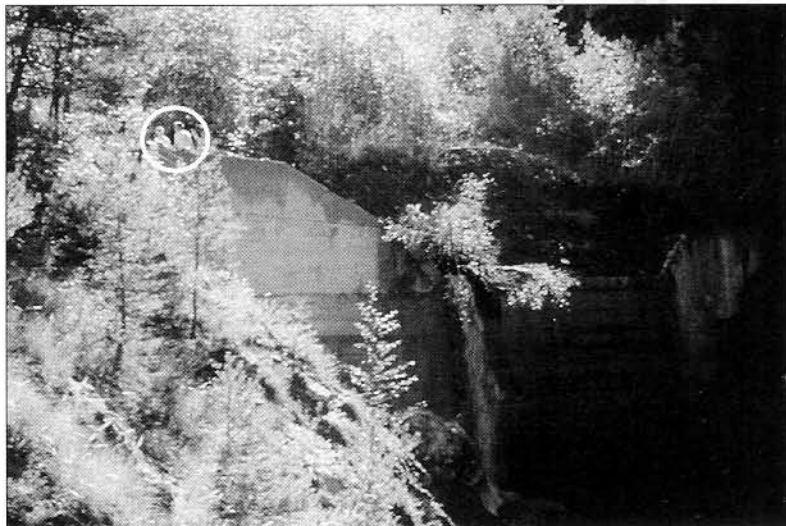


Photo 2 – Front de coulée active chevauchant le barrage n° 28 (octobre 1999). Échelle donnée par les personnages dans le cercle. (voir fig. 6 pour la localisation du site).

Photo 2 – Active mudflow toe on the check dam n°28 site (October 1999). Persons for scale, in circle. (see fig. 6 for site location).

reste inchangé. C'est seulement à partir de la racine du cône de déjection que l'on retrouve ensuite une charge détritique plus hétérométrique, alimentée en blocs par l'affouillement des formations superficielles plus anciennes (diamictites associées aux mouvements de terrain et alluvions *cf.* fig. 4 et 7). Cette contribution des versants demeure néanmoins insuffisante pour compenser un déficit sédimentaire qui est défavorable à la formation de laves torrentielles suffisamment importantes pour envahir largement le cône de déjection. Ce scénario est d'autant moins probable que le chenal d'écoulement y est profondément encaissé (en moyenne de 5 m), ce qui a pour effet de canaliser les laves torrentielles jusqu'à la confluence avec le Bachelard (comme en 1987 ; *cf.* tab. 1). Les profils en travers établis à la racine du cône de

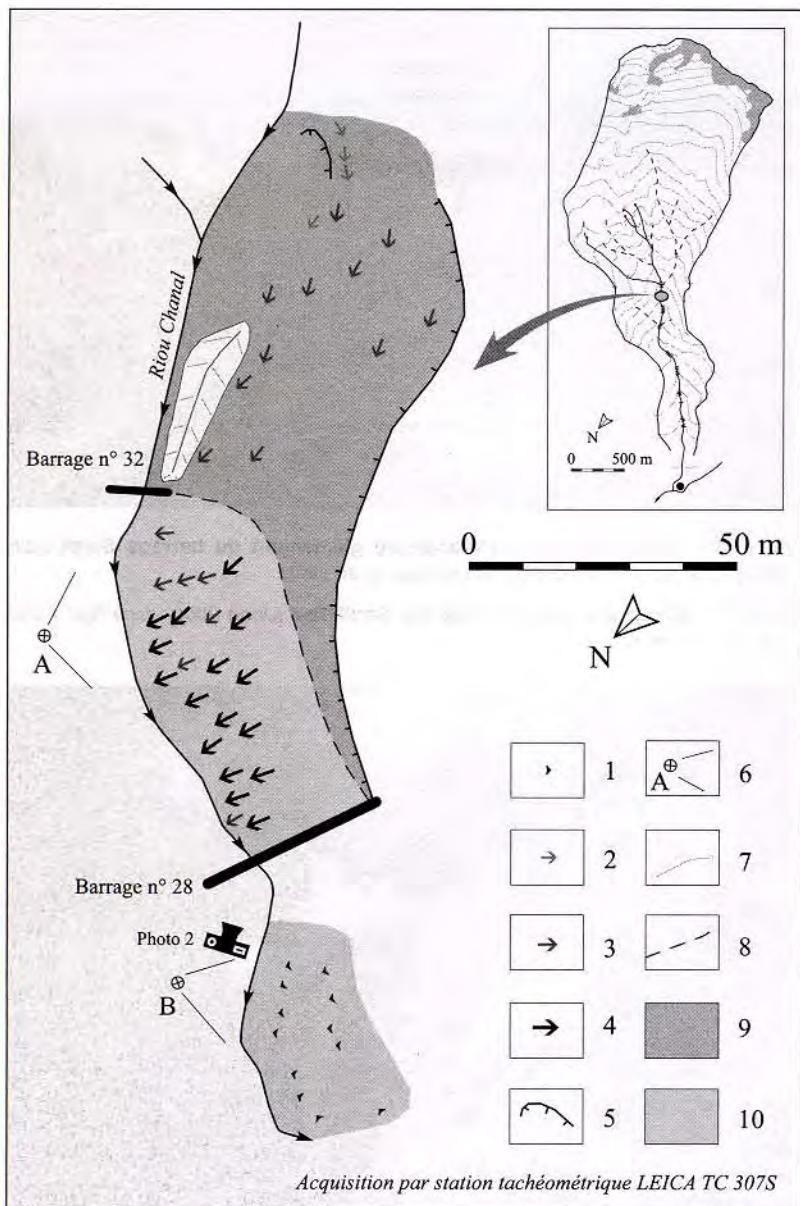
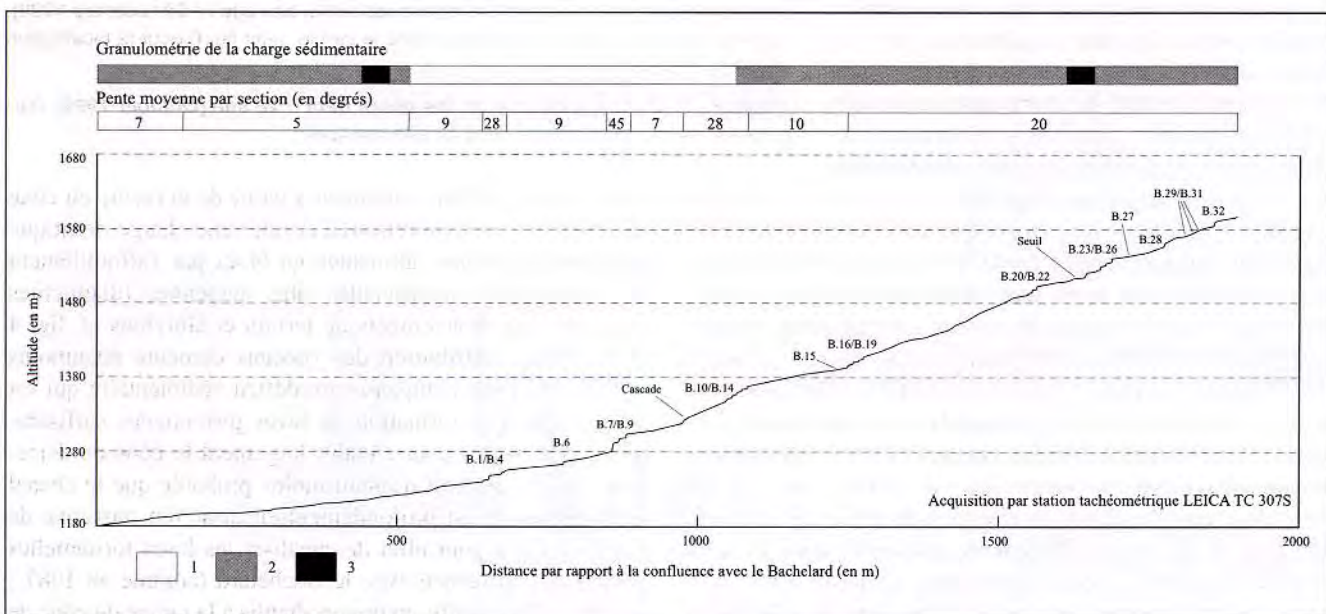


Fig. 6 – Mesures de déplacement sur le mouvement de terrain du barrage n° 28 (période : octobre 1999 – juillet 2000). 1 : déplacements inférieurs à 10 cm ; 2 : déplacements compris entre 10 cm et 1 m ; 3 : déplacements compris entre 1 et 2 m ; 4 : déplacements compris entre 2 et 3 m ; 5 : niche d'arrachement ; 6 : station de mesure ; 7 : interfluve (marnes noires callovo-oxfordiennes) ; 8 : limite entre glissement et coulée ; 9 : corps du glissement rotationnel ; 10 : coulée associée au glissement.

Fig. 6 – Displacement of stakes on the dam n° 28 site (between October 1999 and July 2000). 1: displacements < 10 cm; 2: displacements in the range of 10 cm to 1 m; 3: displacements contained between 1 and 2 m; 4: displacements contained between 2 and 3 m; 5: crown scarp; 6: measurement stations; 7: interfluve (black marls); 8: limit between slump and mud flow; 9: slump; 10: mud flow.

Fig. 7 – Profil en long du Riou Chanal en juillet 2000. 1 : marnes noires remaniées ; 2 : blocs calcaires dominants ; 3 : secteur encombré de gros blocs.

Fig. 7 – Longitudinal profile of the Riou Chanal torrent in July 2000. 1: marl sediments; 2: limestone boulders; 3: channel obstructed by large blocks.



Date	Commentaire
1841, 3 octobre	Digues emportées, propriétés envahies.
1860, septembre	Digue en tête du village, cimetière et partie basse du bourg endommagés.
1876, 12 mai	Lave torrentielle affectant uniquement la partie supérieure du bassin versant (secteur du barrage Sardi).
1914, 22 juillet	Plusieurs ouvrages de correction torrentielle endommagés.
1914, 16 août	<i>Idem</i>
1917, 27 mai	Importante lave torrentielle ayant endommagé plusieurs ouvrages.
1952, 25 juillet	Barrages endommagés.
1987, été	Importante lave torrentielle ayant provoqué l'obstruction du Bachelard avec formation d'un lac de barrage (pas de débordement sur le cône de déjection).
2000, 26/27 mai	Lave torrentielle affectant la partie supérieure du bassin versant (au-dessus du groupe de barrages B.16 à B.19).
2001, 25 juillet	Lave torrentielle affectant la partie supérieure du bassin versant (au-dessus du groupe de barrages B.28 à B.36). Le barrage B.36bis, alors en construction, a été couché lors de l'événement. Il sert aujourd'hui de parafouille au nouveau barrage B.26bis (montant des dégâts : 45 000 €)

Tableau 1 – L'activité torrentielle historique du Riou Chanal. (sources : archives RTM et municipales, observations directes).

Table 1 – History of the torrential activity of the Riou Chanal torrent. (RTM and local archives, personal observations).

déjection par mesures tachéométriques montrent même qu'en cas de débordement, la lave torrentielle s'étalerait d'abord en rive droite car la berge y est moins haute (de 0,60 à 1 m). Situé à proximité du chenal d'écoulement mais en rive gauche, le village d'Uvernet est donc finalement peu menacé par les laves torrentielles, à moins d'admettre un événement d'ampleur encore inégalée ou la formation d'un important embâcle dans le chenal d'écoulement. C'est d'ailleurs pour cette raison que le service RTM a fait exploser, le 31 mai 2001, deux blocs d'environ 100 m³ qui obstruaient partiellement le lit du torrent à la racine du cône de déjection.

Conclusion

Il y a environ un siècle, l'inspecteur des Eaux et Forêts alors en poste dans la région écrivait : "le Riou Chanal est aujourd'hui en rapide voie d'extinction ou éteint (...). L'existence du village d'Uvernet a été sauvegardée" (Champsaur, 1900). Aujourd'hui, on est bien loin des certitudes manifestées par les bâtisseurs de la Restauration des Terrains de Montagne, d'autant que les nouvelles orientations de la politique nationale de prévention des risques naturels conduisent les services déconcentrés de l'État à adopter une attitude plus sécuritaire (Bourrelier, 1997 ; Flez et Lahousse, 2001, 2002). Dans ce contexte, le torrent du Riou Chanal est rapidement devenu une priorité, dans la mesure où le village d'Uvernet est situé sur son cône de déjection, à proximité du chenal d'écoulement. Certes, la réhabilitation globale du dispositif de correction torrentielle se justifie, ne serait-ce que pour préserver l'œuvre accomplie durant la "période héroïque" de la Restauration des Terrains en Montagne (1863-1914). Mais

il apparaît que les groupes de barrages situés entre 1280 et 1400 m d'altitude méritent à ce niveau une attention toute particulière (du B.7 au B.19). Ils fixent, en effet, un profil en long naturellement propice à l'atterrissement des matériaux avant leur arrivée sur le cône de déjection. Ils contribuent en cela, au même titre que l'encaissement du chenal sur le cône de déjection, à réduire le risque de déversement d'une lave torrentielle sur le village d'Uvernet.

Remerciements

Nous tenons à adresser nos sincères remerciements aux agents du service de Restauration des Terrains de Montagne des Alpes-de-Haute-Provence pour l'intérêt qu'ils ont bien voulu porter à nos recherches et pour le soutien matériel octroyé. Nous remercions également Y. Gunnell, J.-C. Thouret et deux autres rapporteurs anonymes pour leur lecture critique et les suggestions qui ont permis d'améliorer le manuscrit initial.

Références

- Antoine P., Giraud A., Meunier M., Van Asch T.W.J. (1995) – Geological and geotechnical properties of the "Terres Noires" in the southeastern France : weathering, erosion, solid transport and instability. *Engineering Geology*, 40, 223-234.
- Arnaud F. (1894) – Notice historique sur les torrents de la vallée de l'Ubaye. In *L'extinction des torrents en France par le reboisement*. Imprimerie Nationale, Paris, 408-425.
- Bonnet-Staub I. (1998) – Mécanismes d'initiation des laves torrentielles dans les Alpes françaises, contribution à la maîtrise du risque. Thèse, École des Mines de Paris, 237 p.

- Bourelrier P.H. (1997)** – *La prévention des risques naturels, rapport d'évaluation*. La Documentation Française, Paris, 702 p.
- Braam R.R., Weiss E.E.J., Burrough P.A. (1987a)** – Spatial and temporal analysis of mass movement using dendrochronology. *Catena*, 6, 573-584.
- Braam R.R., Weiss E.E.J., Burrough P.A. (1987b)** – Dendrogeomorphological analysis of mass movement. A technical note on the research method. *Catena*, 6, 585-589.
- Champsaur E. (1900)** – *Restauration et conservation des terrains en montagne. Les terrains et les paysages torrentiels*. Imprimerie Nationale, Paris, 64 p.
- Chondroyannis P. (1992)** – *Ubaye, la forêt reconstruite*. Barcelonnette, Office National des Forêts, 112 p.
- Colas G., Locat J. (1993)** – Glissement et coulée de La Valette dans les Alpes de Haute Provence : présentation générale et modélisation de la coulée. *Bulletin de Liaison du Laboratoire des Ponts et Chaussées*, 187, 19-28.
- Delsigne F., Lahousse P., Flez C., Guiter G. (2001)** – Le Riou Bourdoux : un "monstre" alpin sous haute surveillance. *Revue Forestière Française*, 5, 527-541.
- Demontzey P. (1878)** – *Étude sur les travaux de reboisement et de gazonnement des montagnes*. Imprimerie Nationale, Paris, 420 p.
- Demontzey P. (1894)** – *L'extinction des torrents en France par le reboisement*. Imprimerie Nationale, Paris, 463 p.
- Dumas B., Guérémy P., Lecompte M., Lhénaff R., Raffy J. (1987)** – Mouvements de terrain et érosion hydrique dans les Baronnies méridionales : méthodes d'étude et premiers résultats. *Travaux de l'Institut de Géographie de Reims*, numéro spécial 69-72 "Géomorphologie et risques naturels", 69-93.
- Évin M. (1990a)** – Les risques naturels dans un espace montagnard : la haute Ubaye. *Revue de Géographie Alpine*, 1/2/3, 175-192.
- Évin M. (1990b)** – Le glissement de La Valette (Barcelonnette). *Bulletin de l'Association de Géographes Français*, 2, 149-157.
- Fanthou T. (1994)** – *Les risques naturels dans le département des Hautes-Alpes, chroniques et territoires*. Thèse de doctorat, Université de Paris 7, 189 p.
- Flageollet J.C., Maquaire O., Martin B., Weber D. (1999)** – Landslides and climatic conditions in the Barcelonnette and Vars basins (Southern French Alps, France). *Geomorphology*, 1-2, 65-78.
- Flez C., Lahousse P. (2001)** – Interactions entre gestion du risque torrentiel et extension urbaine dans une station touristique de montagne : l'exemple de St-Chaffrey (Serre-Chevalier, Hautes-Alpes). Actes du colloque *Risques et Territoires*, Lyon, 16-18 mai 2001, 2, 275-288.
- Flez C., Lahousse P. (2002)** – La gestion du risque torrentiel dans la commune de St-Chaffrey (Serre-Chevalier, Hautes-Alpes) : acteurs et enjeux. *L'Espace Géographique*, à paraître.
- Harvey A.M. (1992)** – Controls on sedimentary style on alluvial fans. In P. Billy, R.D. Hey, C.R. Thorne, P. Tacconi (Ed): *Dynamics of gravelled bed rivers*, J. Willey & Sons, Chichester. 519-535.
- Jackson L.E., Kostaschuk R.A., MacDonald G.M. (1987)** – Identification of debris flow hazard on alluvial fans in the Canadian Rocky Mountains. In J.E. Costa and G.F. Wieczorek (Ed) *Debris flows – avalanches: process, recognition and mitigation*, Geological Society of America, Reviews in Engineering Geology, 7, 115-124.
- Lahousse P. (1997)** – L'apport de l'enquête historique dans l'évaluation des risques morphodynamiques : l'exemple de la vallée de la Guisane (Hautes-Alpes, France). *Revue de Géographie Alpine*, 1, 53-60.
- Légier A. (1977)** – *Mouvements de terrain et évolution récente du relief dans la région de Barcelonnette (Alpes-de-Haute-Provence)*. Thèse, Université Scientifique et Médicale de Grenoble, Institut Dolomieu, 163 p.
- Marchi L., Brochot S. (2000)** – Les cônes de déjection torrentiels dans les Alpes françaises. Morphométrie et processus de transport solide torrentiel. *Revue de Géographie Alpine*, 3, 23-38.
- Marchi L., Pasuto A., Tecca P.R. (1993)** – Flow processes on alluvial fans in the Eastern Italian Alps. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 37, 447-458.
- Mougin P. (1931)** – *La restauration des Alpes*. Imprimerie Nationale, Paris, 584 p.
- Sivan O. (2000)** – *Torrents de l'Ubaye*. Barcelonnette, éd. Sabença de la Valeia, 48 p.
- Sorgi-de-Gennaro L. (1999)** – *Contribution à l'étude des facteurs climatiques, géologiques et géotechniques contrôlant la génération des laves torrentielles. Application au secteur de St-Martin-de-la-Porte (Savoie, France)*. Thèse, École des Mines de Paris, 172 p.
- Weber D. (1994)** – Research into earth movements in the Barcelonnette basin. Rapport final du programme EPOCH "Temporal occurrence and forecasting of landslides in the European Community", 1, 321-336.
- Weber D., Herrmann A. (2000)** – Contribution de la photogrammétrie numérique à l'étude spatio-temporelle de versants instables : l'exemple du glissement de Super-Sauze (Alpes-de-Haute-Provence, France). *Bulletin de la Société Géologique de France*, 6, 637-648.

Article reçu le 8 mars 2001, accepté le 22 novembre 2001