



**HAL**  
open science

# Évolution contemporaine de l'activité torrentielle sur les cônes de déjection de la basse vallée de la Clarée (Briançonnais, Alpes françaises du Sud)

Gilles Garitte, Philippe Lahousse, Lucas Thénard, Pierre-Gil Salvador

► **To cite this version:**

Gilles Garitte, Philippe Lahousse, Lucas Thénard, Pierre-Gil Salvador. Évolution contemporaine de l'activité torrentielle sur les cônes de déjection de la basse vallée de la Clarée (Briançonnais, Alpes françaises du Sud). *Géomorphologie: relief, processus, environnement*, 2007, 13 (4), pp.293-308. 10.4000/geomorphologie.4252 . hal-04841586

**HAL Id: hal-04841586**

<https://univ-catholille.hal.science/hal-04841586v1>

Submitted on 19 Dec 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Évolution contemporaine de l'activité torrentielle sur les cônes de déjection de la basse vallée de la Clarée (Briançonnais, Alpes françaises du Sud)

## *Contemporary evolution of torrential activity on the alluvial fans of the Lower Clarée catchment (Briançonnais, southern French Alps)*

Gilles Garitte\*, Philippe Lahousse\*, Lucas Thénard\*, Pierre-Gil Salvador\*

### Résumé

Les cônes de déjection de certains cours d'eau en montagne sont les témoins de l'activité torrentielle. Or, leur dynamique évolue sans cesse sous l'influence de nombreux paramètres environnementaux. Cette évolution peut être appréhendée en examinant les modifications de la largeur des bandes actives. L'évolution contemporaine de l'activité des torrents de la basse vallée de la Clarée est étudiée en se fondant, d'une part, sur l'analyse de leur cône de déjection à travers l'étude diachronique de photographies aériennes et de documents d'archives des 100 dernières années et, d'autre part, sur les résultats de l'observation de différents torrents grâce à des mesures topométriques décrivant l'évolution de leurs chenaux durant la dernière décennie. Les résultats mettent en évidence l'originalité des facteurs commandant l'ajustement morphologique des torrents de la vallée et les conséquences cindyniques de cette évolution contemporaine.

**Mots clés** : torrent, bandes actives, risques, Alpes.

### Abstract

*Alluvial fans record the activity of torrential streams. The dynamics of mountain torrents are affected by a wide range of environmental parameters. The changing dynamics of torrents can be identified on the alluvial fans through modifications of the width of the active channels. This article deals with the contemporary evolution of torrential activity in the lower valley of the Clarée River. The alluvial fans are studied using iconographic documents spanning the last 100 years, and using results from detailed observation of various torrents involving topometric measurements of channels over the last decade. The results of this study underline both the uniqueness of the factors controlling the morphological adjustment of the torrents of the valley and the consequences of this contemporary evolution in terms of risks and hazards.*

**Key words:** mountain stream, active channel, risk, the Alps.

### Abridged English version

*The valley of the river Clarée is located at the northern limit of the southern French Alps. It is an area prone to recurring torrential activity because of the lithology of the catchment (dolomites, cagneules and Triassic limestones), its high relief, the presence of morainic and periglacial deposits, and its climatic characteristics involving summer storms. Many torrents exhibiting a range of morphological characteristics drain the valley slopes and a few of them were the object of works and reforestation by the Service de*

*Restauration des Terrain en Montagne (RTM: Mountain Land Restoration; fig. 1, tab. 1). The contemporary evolution of torrential dynamics was analysed through the evolution of the width of the active channels on the alluvial fans. Archive documents (watercolours and photographs from the end of the 19th and beginning of the 20th centuries) are useful to assess the evolution of the environment of these torrents (fig. 2: A, B and C). For the more recent period, the evolution of the active channels was studied from aerial photographs. These documents were initially rectified by triangulation based on orthophotography using ER Map-*

\* Laboratoire Territoires, Villes, Environnement, Société, EA 4019. UFR de Géographie et Aménagement, université des Sciences et Technologies de Lille, 59655 Villeneuve d'Ascq cedex. Courriels : gilles@garitte.net ; philippe.lahousse@univ-lille1.fr ; lucas.thenard@hotmail.fr ; pierre-gil.salvador@univ-lille1.fr

per 6.4<sup>©</sup>. The evolution of the active channel width was measured on cross-sections regularly distributed along the axis of the channel of the torrents by using a Geographical Information System (MapInfo 7.5<sup>©</sup>). To remove the scale effect between the various alluvial fans, width values of the active channels were converted to indices. Current torrential dynamics were studied by adopting a morphotopometric approach, which provided the basis of a diachronic analysis of the torrential channels.

Results of the study of the evolution of the active channels show that the three analyzed torrents have undergone significant narrowing. This morphological adjustment varies from one situation to another: it is detected since 1945 in the case of the Torrent de Roubion (fig. 2 A and A', fig. 5), was mainly limited to the 1939-1961 period for the Torrent des Ruines (fig. 3, fig. 5), and occurred steadily throughout the second half of the 20th century for the Torrent des Acles (fig. 4, fig. 5). Other channels of the Clarée valley have not behaved truly torrentially during the last ten years, but geomorphological mapping of the alluvial fan has revealed evidence of past debris flow activity. Torrential activity frequently occurred at the end of the Little Ice Age but recent debris flows are becoming rarer and spatially less extensive (fig. 6). In the case of the Ravin des Sables, the relative attenuation of torrential activity is not accompanied by a narrowing of the active channel. However, the majority of the torrents in the Clarée river valley are still likely to destroy the bordering forest, and thus hinder the morphological adjustment. This is illustrated by the debris flood of the Torrent de Granon on July 22, 1988 (fig. 10).

Our focus on the past ten years is too short to capture the present day dynamics of several torrents. In the case of Le Ravin des Sables, the levees produced on July 24, 1995 have since channelized the flows on the alluvial fan. During the October 15, 2000, debris flow, the contribution of the catchment to the solid load seems to have been negligible. Sediment mobilization mostly occurred in the proximal portion of the alluvial fan, directly in the bed of the torrent (fig. 7, sector I, cross sections A to E). A spatial differentiation of processes can be observed along the Ravin des Sables: debris flow deposits in the upstream (coarse materials deposited in bulk; fig. 7, sector II, cross sections F and G) and sorted alluvium in the downstream section (fig. 7, sector III, cross sections H to O). This underlines the diversity of the coarse load transport processes during a low frequency and high magnitude event. On June 18, 2002, a storm centered on the peak of Le Serre des Aigles triggered the simultaneous flood of the torrents of Malefosse and Enrouye (fig. 1). These contiguous torrents are characterized by the size of their watershed areas (1,6 km<sup>2</sup> for Malefosse and only 0,2 km<sup>2</sup> for Enrouye) and by the slope of their stream channels (16% for Malefosse and 28% for Enrouye). The topometric measurements taken before and after the June 18, 2002, flood make it possible to describe precisely the response to the same weather event of these two torrents. The evolution of the longitudinal and transverse profiles shows a different dynamic of bedload transit

on the two torrents (fig. 8, fig. 9). For the Torrent de Malefosse, the 5000 to 6000 m<sup>3</sup> of materials that blocked the confluence with the main river were mobilized throughout the trough. The result was a generalised lowering of the talweg, even on both sides of RTM dams. The Ravin de l'Enrouye exhibits a succession of incised and aggraded reaches, undoubtedly the result of sediment reworking at the end of the flood because, at least part of the transfer of the load was carried out by a debris flow, as can be seen by the lateral levees identified at several locations (fig. 9). On the other hand, the lack of such levees in the stream channel of the Torrent de Malefosse leads us to envisage a hyperconcentrated flow (fig. 8A).

It is often difficult to distinguish between the respective roles of bioclimatic and anthropogenic factors in the morphological adjustment of the torrents on their alluvial fans. The actions of the forest services and the land use changes due to the 20th century rural depopulation took place immediately after the Little Ice Age and its climatic effects. In the Clarée valley, this complexity is more obvious because the RTM only worked on five torrents (fig. 1). In addition, the catchment slopes were not cultivated and used instead as mountain pastures. Pastoral pressure has increased there. In the case of the Torrent des Acles, the surface of the mountain pastures located in the catchment area increased from 782 ha in 1963 to 1500 ha in 1997 and the ovine livestock increasing from 872 to 1400 heads; whereas in the same time the active torrential channel has narrowed on the alluvial fan (fig. 4). Thus, anthropogenic factors and particularly rural depopulation, which are usually called upon to explain the reforestation, and the consecutive sedimentary transit shortening, play a secondary role here. Consequently, the impacts of the bioclimatic factors seem to be the most important. In the Clarée valley, the principal factors ordering the frequency and intensity of the morphological adjustment of the torrents on their alluvial fans are: i) climatic warming after the Little Ice Age, which at the same time promoted revegetation and the stabilization of sediment sources and the reduction of cryo-nival processes responsible for sediment mobilization in the upper catchment slopes; ii) the geomorphological characteristics of the catchment, namely surface, hypsometry, exposure, lithology, position of the sedimentary source areas, etc., which control sediment supply to the torrential stream. Moreover, our observations on the alluvial fan evolution in the Clarée valley underline the consequences of this active channel narrowing in terms of hazards and risks.

## Introduction

Les caractéristiques sédimentologiques des cônes de déjection du bassin durancien témoignent de la complexité de l'évolution du détritisme torrentiel d'âge tardiglaciaire et holocène dans les Alpes du Sud (Gautier 1992 ; Rosique, 1996 ; Jorda et Provansal, 1996 ; Ballandras, 2002 ; Jorda *et al.*, 2002 ; Miramont *et al.*, 2004). Cependant les crises morphogéniques des 15 000 dernières années s'inscrivent dans un contexte généralisé de tarissement des sources sédi-

mentaires, qui s'est traduit par un amenuisement progressif des remblaiements torrentiels (Jorda, 1993). À l'issue du petit âge glaciaire, les cônes de déjection de la vallée de la Clarée étaient donc déjà en partie libérés de l'emprise de leurs torrents respectifs. Ces espaces de fond de vallée sont-ils pour autant restés dépourvus d'évolution géomorphologique depuis plus d'un siècle et demi ? Les nombreux débordements torrentiels répertoriés depuis le milieu du XIX<sup>e</sup> siècle sont là pour nous rappeler le contraire (Baraille, 2001 ; Blanchard *et al.*, 2006). Mais au-delà de ces phénomènes paroxystiques, les changements environnementaux de la période contemporaine se sont traduits par un phénomène de rétraction des lits torrentiels sur les cônes de déjection, conforme à ce qui a déjà été observé et analysé dans d'autres secteurs des Alpes du Sud (Piégay et Salvador, 1997 ; Landon et Piégay, 1999 ; Liébault et Piégay 2002 ; Liébault, 2003 ; Flez et Lahousse, 2003). Il existe donc aujourd'hui un paradoxe entre l'image d'apaisement de la torrentialité reflétée par les cônes de déjection et la persistance des crues torrentielles dommageables dans le Briançonnais. Certes, le régime spasmodique des torrents est l'une de leurs principales caractéristiques, mais il est désormais mis en exergue par la modestie du fonctionnement habituel qui tranche davantage avec les épisodes de crues extrêmes. L'objectif de cet article est de dégager l'originalité de l'ajustement morphologique contemporain des torrents de la vallée de la Clarée à partir d'une approche imbriquant différentes échelles spatiales et temporelles.

## La vallée de la Clarée et ses torrents affluents

La vallée de la Clarée, d'une superficie de l'ordre de 200 km<sup>2</sup>, se situe dans le Briançonnais (Hautes-Alpes) à la limite septentrionale des Alpes du Sud. La basse vallée s'ouvre en grande partie dans les nappes de charriage briançonnaises dominées par des roches carbonatées, principalement des dolomies, des brèches dolomitiques et des calcaires du Trias (Barféty *et al.*, 1996). Le contexte géomorphologique est marqué, d'une part, par la grande énergie du relief (dénivelée supérieure à 1 000 m) et la vigueur des pentes et, d'autre part, par la présence de dépôts morainiques et périglaciaires qui constituent autant de matériaux sédimentaires susceptibles d'alimenter les torrents. Par ailleurs, ce secteur connaît un climat de montagne caractérisé par l'occurrence des précipitations orageuses durant la période estivale : une moyenne mensuelle de six jours d'orage en juin, juillet et août a été relevée à Briançon (CEMBREU, 2004). Enfin, la couverture forestière, essentiellement composée de conifères, est de l'ordre de 25 % pour l'ensemble de la vallée de la Clarée (Corine Land Cover, 2000) mais se localise principalement au fond de celle-ci et à la partie inférieure des versants. L'ensemble de ces caractéristiques fait de la vallée de la Clarée un secteur favorable à l'activité torrentielle. Parmi les trente-trois organismes torrentiels aux caractéristiques morphologiques variées qui se développent sur les versants de la vallée, treize ont fait l'objet de la présente étude (fig. 1, tab. 1).

## Les documents étudiés et leur traitement

Dès la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, les services de Restauration des Terrains en Montagne (RTM) ont utilisé la photographie pour rendre compte de l'efficacité de leurs interventions (Lebart, 1997 ; Brochot, 2004). Toutefois, compte tenu du caractère ponctuel des actions menées dans la vallée de la Clarée (fig. 1), le fond photographique des archives des services RTM est assez limité pour cette période. Pourtant, associé aux aquarelles peintes en 1895 pour des besoins militaires (documents archivés au Centre National d'Aguerissement en Montagne, établi à Briançon) et à quelques clichés retrouvés dans des ouvrages anciens (Kilian, 1902), il permet de saisir les grandes tendances de l'évolution de l'activité torrentielle sur les cônes de déjection depuis plus d'un siècle (fig. 2 A, B et C).

L'évolution récente des bandes actives torrentielles a été évaluée à partir de photographies aériennes issues de l'Institut Géographique National, de l'Inventaire Forestier National et de la Direction Départementale de l'Équipement. Les missions les plus couramment examinées datent de 1939, 1945, 1952, 1961, 1971, 1981, 2000 et 2003. Ces documents ont d'abord fait l'objet d'un calage géométrique et d'un géoréférencement à l'aide du logiciel ER Mapper 6.4<sup>©</sup>. Pour cela, les clichés ont été numérisés à haute résolution, soit une taille de pixel variant entre 46 cm et 118 cm selon l'échelle des photographies. Pour permettre des résultats satisfaisants, le redressement géométrique a été effectué sur la base de la BD Ortho<sup>©</sup> IGN de 2003. Il s'appuie sur une rectification par triangulation à partir d'au moins 15 points de contrôle identifiés sur les cônes de déjection (habitation, intersection de routes, pont, limite de parcelle, pierrier, etc.). Les scènes ainsi redressées et géoréférencées ont été intégrées à un système d'information géographique réalisé avec MapInfo 7.5<sup>©</sup>. La fiabilité de ce redressement a fait l'objet d'un contrôle en comparant des mesures sur une photographie rectifiée de 1999 avec des mesures tachéométriques sur le terrain. La marge d'erreur moyenne est de l'ordre de  $\pm 3$  %, avec un maximum n'excédant pas 7 %. L'évolution de la largeur de la bande active torrentielle a été mesurée le long de transects régulièrement répartis (entre 25 et 50 m selon les cas) le long de l'axe du chenal d'écoulement. Pour supprimer l'effet d'échelle entre les différents cônes de déjection, les valeurs ont été converties en indices en prenant comme référence la largeur moyenne de la bande active sur le cliché le plus ancien.

Les relevés topométriques effectués dans les bassins torrentiels se sont développés dès la fin du XIX<sup>e</sup> siècle en même temps que la RTM (Thiéry, 1891 ; Champsaur, 1900). À cette époque, ils servaient essentiellement à positionner et dimensionner les ouvrages de génie civil implantés dans le lit des torrents. Pour le torrent de Malefosse par exemple (fig. 1), les profils longitudinaux levés en 1908 et 1939 sont encore disponibles aux Archives Départementales des Hautes-Alpes.

Depuis mai 1999, des campagnes de mesures topométriques ont été régulièrement effectuées sur plusieurs tor-

Torrent	Lettre dans la fig. 1	Superficie du bassin de réception (km <sup>2</sup> )	Longueur du chenal (km)	Altitude maximale du bassin de réception (m)	Altitude de l'apex du cône de déjection (m)	Altitude de la confluence avec la rivière principale (m)
Acles	C	21,4	6,6	3 056	1 500	1 472
Cratourié	J	1,2	1,5	2 577	1 505	1 376
Creuzet	B	3,8	3,5	2 646	1 650	1 538
Enrouye	K	0,2	1,1	2 250	1 470	1 359
Fournéous	H	0,9	1,5	2 630	1 500	1 393
Gamattes	G	1,0	2,2	2 326	1 520	1 397
Granon	F	12,9	4,9	2 882	1 455	1 409
La Ruine	I	1,2	1,8	2 554	1 455	1 377
Les Ruines	L	1,3	2,5	2 565	1 465	1 357
Malefosse	M	1,6	1,8	2 567	1 475	1 330
Pinatelle	E	1,2	1,4	2 663	1 540	1 412
Roubion	A	5,1	4,3	2 686	1 670	1 577
Sables	D	0,8	1,5	2 668	1 540	1 431

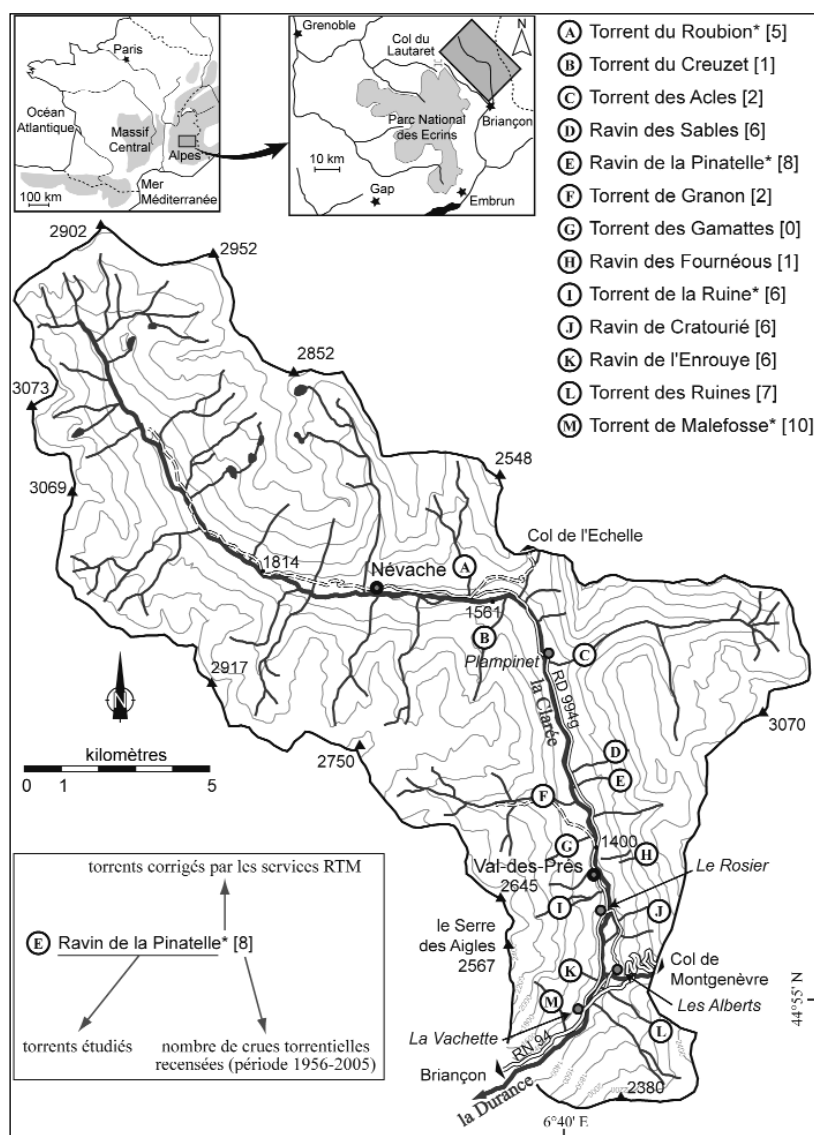
Tableau 1 – Caractéristiques morphométriques des treize torrents étudiés.

Table 1 – Morphometric characteristics of the thirteen studied torrents.

rents de la vallée de la Clarée. Elles ont débouché sur la réalisation de 18 profils en long et plus de 350 profils transversaux répartis sur 16 rivières de la basse vallée, ce qui représente plus de 12 000 points de mesure. Cela a d'abord permis de dresser un état des lieux détaillé des lits torrentiels : caractéristiques de la charge sédimentaire, stabilité des berges, localisation des seuils rocheux et des ouvrages de correction, etc. La précision des mesures offerte par le tachéomètre infrarouge utilisé (d'ordre pluricentimétrique en pratique) a également fourni les bases d'une analyse diachronique du chenal d'écoulement des torrents ayant subi au moins une crue morphogène durant la période d'observation de 1999 à 2006. Sur certains d'entre eux, notamment le Ravin des Sables et le Malefosse, des secteurs clés ont fait l'objet d'une cartographie géomorphologique à l'échelle du 1/500 au 1/1000, à partir de modèles numériques de terrain établis par levés tachéométriques et traités par le logiciel Surfer v.7<sup>®</sup> (maillage de points de l'ordre d'une mesure pour 1,5 m<sup>2</sup>)

Fig. 1 – Localisation des torrents étudiés.

Fig. 1 – Location of studied torrents.



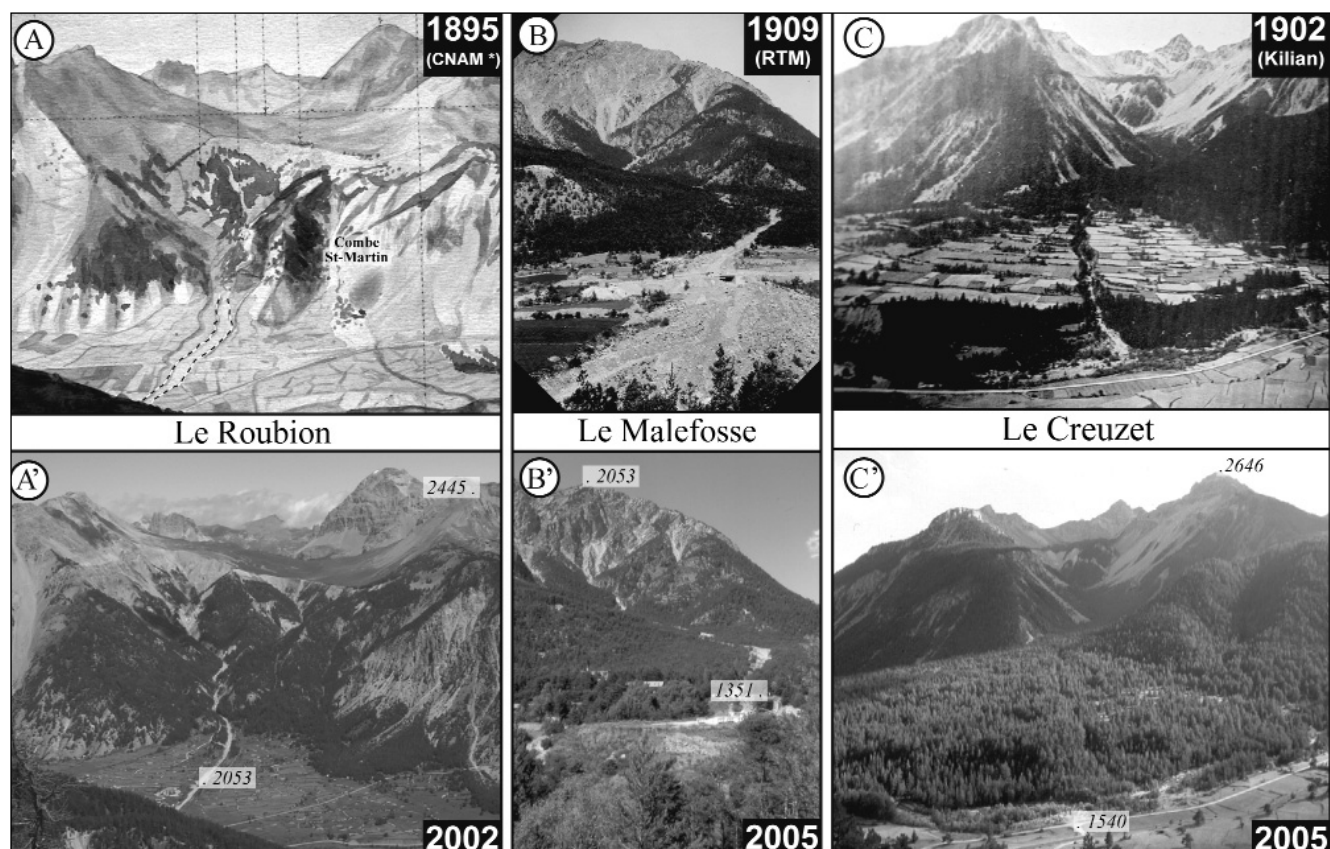


Fig. 2 – Évolution du paysage de trois cônes de déjection au cours du XXe siècle. Les lignes en noir et blanc sur l'aquarelle de 1895 (\* Centre National d'Aguerrissement en Montagne, Briançon), représentent la limite de la bande active.

Fig. 2 – *Landscape evolution of three alluvial fans during the 20th century. Black and white lines on military watercolour of 1895 (\* Centre National d'Aguerrissement en Montagne, Briançon) represent active channel limits.*

## Résultats

### L'évolution séculaire de l'emprise torrentielle sur les cônes de déjection

L'évolution des bandes actives des torrents des Ruines, des Acles et du Roubion a fait l'objet d'une analyse fondée sur les photographies aériennes rectifiées (fig. 1). Pour le Roubion, la rétraction de la bande active sur le cône de déjection a été particulièrement précoce. Une aquarelle militaire de 1895 (fig. 2A) montre en effet, selon les endroits, une bande active deux à quatre fois plus large qu'en 1945. On en retrouve d'ailleurs la traduction topographique sur le terrain sous forme d'une terrasse emboîtée dans la surface principale du cône de déjection, et perchée à environ 3 m au-dessus du chenal actuel (Flez et Garitte, 2006). La largeur de la bande active torrentielle est ensuite restée stable (indice 100 en 1945 contre 103 en 1971), et seuls les endiguements pratiqués en 1974 et 1975 sur toute la longueur du cône de déjection vont la réduire de 40 %, mais elle demeurera stable ensuite (Lahousse *et al.*, 2006).

Les modalités de rétraction de la bande active du torrent des Ruines sont sensiblement différentes de celles observées dans le cas du Roubion. L'analyse des photographies aériennes laisse apparaître une évolution rapide entre 1939

et 1952 puisque la largeur moyenne passe d'environ 15 m à moins de 7 m, soit une réduction de la bande active torrentielle de près de 60 % sur la moyenne des profils (fig. 3B). Au cours de la décennie suivante, les crues des 8 et 9 juillet 1956 et du 19 juin 1960 ont eu pour effet de ralentir cette tendance en remobilisant la charge de surface. Entre 1952 et 1961, l'indice moyen ne perd effectivement que 14 %. La partie aval du chenal en est principalement responsable car c'est là que l'effet morphogène des crues a été le plus marqué. Du coup, la dispersion des valeurs de la largeur est plus forte, ce qu'exprime l'augmentation des écarts interquartile et interdécile (fig. 3B). La rétraction s'accélère entre 1961 et 1971 (-61 %), et la largeur de la bande active devient plus homogène sur l'ensemble du cône de déjection : l'écart interquartiles est de 46 en 1961 contre seulement 4 en 1971. On assiste alors à une colonisation rapide de cette bande active par la forêt riveraine. Celle-ci occupe aujourd'hui quasiment toute la zone qui était encore régulièrement balayée par le torrent en 1939 (la largeur moyenne de la bande active ayant été divisée par 10 en 60 ans), et joue désormais un rôle de peigne qui garantit, au moins vis-à-vis des crues de fréquence élevée et de faible magnitude (crues dont la période de retour est de l'ordre de 1 à 3 ans par opposition à celles, plus rares, d'une période de retour supérieure à 10 ans, aux conséquences morphogènes majeures), la pro-

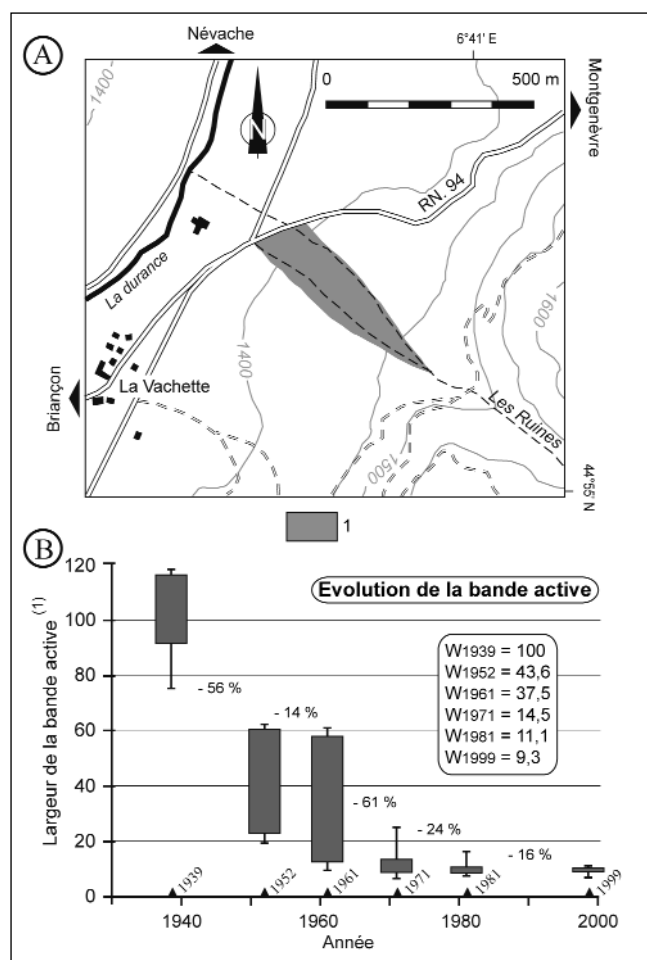


Fig. 3 – Évolution de la bande active sur le cône de déjection du torrent des Ruines entre 1939 et 1999. A : Le cône de déjection. 1 : extension de la bande active torrentielle en 1939. B : Évolution de la largeur de la bande active. (1) indice 100 = largeur moyenne de la bande active en 1939 ; boîtes à moustaches : les rectangles gris représentent l'écart interquartile, les lignes verticales représentent l'écart interdécile, W correspond à la largeur moyenne (indice 100 pour 1939), les valeurs en pourcentages correspondent aux taux de variation de la bande active torrentielle entre les dates.

Fig. 3 – Changes in active channel width on the alluvial fan of the Torrent des Ruines between 1939 and 1999. A: alluvial fan. 1: active channel area in 1939. B: evolution of active channel width. (1) index 100 = mean value of active channel width in 1939; box and whiskers plots: grey boxes represent inner and outer quartiles; vertical lines represent inner and outer decile; W represents mean values of active channel width for each date (index 100 for 1939); values in per cent represent the rate of channel narrowing between dates.

tection contre l'engravement de la route nationale 94 menant à l'Italie par le col de Montgenèvre (fig. 1).

Dans le cas du torrent des Acles, l'aquarelle militaire de 1895 (fig. 4A) et les relevés géomorphologiques effectués le long de profils transversaux témoignent d'une relative stabilité de la bande active jusqu'en 1939. La rétraction survient ensuite mais à un rythme plus modéré que dans le cas du torrent des Ruines (fig. 5). Dans la partie supérieure du cône de déjection, la contraction est assez régulière. Vers l'aval, le phénomène s'accélère sensiblement entre 1961 et 1981 et s'accompagne d'une homogénéisation de la largeur de la bande active : l'écart interquartiles est de 50 en 1961

contre seulement 14 en 1981. Au final, en passant d'une largeur moyenne de 56 m en 1939 à moins de 17 m en 1999, cette dernière a diminué en moyenne des trois quarts (fig. 5), principalement par resserrement du secteur aval.

D'autres torrents de la vallée de la Clarée n'ont jamais eu véritablement de bande active durant la période contemporaine. C'est le cas, par exemple, de ceux de Cratourié et de l'Enrouye ou de celui des Gamattes qui balayent leurs cônes de déjection de manière aléatoire lors de chaque épisode de crue (fig. 1). Jusqu'au 24 juillet 1995, date de déclenchement d'une importante lave torrentielle, le Ravin des Sables situé sur la rive gauche de la Clarée, à mi-chemin entre Val-des-Prés et le hameau de Plampinet (fig. 1), appartenait à cette catégorie. La cartographie géomorphologique détaillée de son cône de déjection a révélé de nombreuses traces de laves torrentielles (fig. 6). Les plus étendues s'étirent jusqu'à la route départementale 994g, principalement de part et d'autre du chemin menant à la grotte des Cinquante Ânes. Leurs bourrelets latéraux portent des pins à crochets dont l'âge maximal est compris entre 145 et 155 ans d'après nos relevés dendrochronologiques de 1999. Ces formes peuvent suggérer une activité torrentielle plus prononcée à la fin du petit âge glaciaire qu'actuellement, car les traces de coulées plus récentes sont rares et surtout limitées.

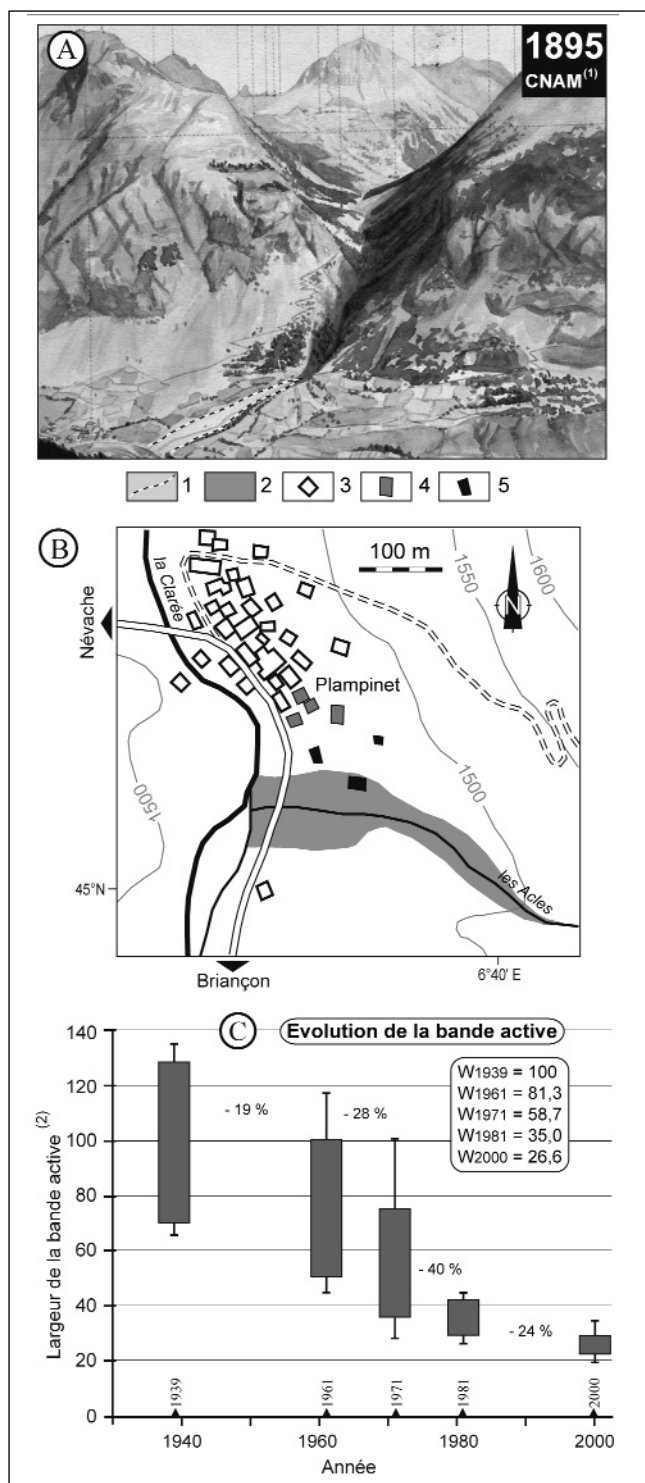
Dans le cas du Ravin des Sables, l'atténuation contemporaine de la torrentialité prend donc une autre forme que celle de la rétraction de la bande active. Dans ce contexte, la lave torrentielle du 24 juillet 1995 fait figure d'événement exceptionnel avec un volume déposé de l'ordre de 12 000 à 15 000 m<sup>3</sup>, au même titre que celle du 14 juin 1957 qui, en dépit d'un volume de matériaux mobilisés plus modeste, avait atteint la route départementale 994g (Blanchard *et al.*, 2006).

## La dynamique torrentielle actuelle

Nous avons par ailleurs tenté de saisir les modalités du fonctionnement de plusieurs torrents durant la dernière décennie. Nous avons choisi de présenter ici les résultats des mesures topométriques effectuées pour trois d'entre eux : le Ravin des Sables, le Malefosse et le Ravin de l'Enrouye (fig. 1).

Les bourrelets latéraux mis en place par la lave torrentielle du 24 juillet 1995 le long du Ravin des Sables canalisent désormais les écoulements sur son cône de déjection (Lahousse et Romelé, 2000). Ils ont ainsi favorisé, lors de crues du 20 septembre 1999 et du 13 juin 2000, le transit des matériaux mobilisés, pourtant bien plus modestes, vers la rivière principale et l'engravement de la route départementale reliant Névache à Briançon (Lahousse *et al.*, 2002). Du coup, un aménagement de la confluence avec la Clarée a été réalisé au cours de l'année 2000 par le reprofilage du lit et la mise en place d'une digue visant à limiter le risque d'embâcle dans la vallée principale (Lahousse *et al.*, 2003).

L'efficacité de ces travaux n'a cependant pas encore pu être vérifiée car la dernière crue répertoriée pour le Ravin des Sables, le 15 octobre 2000, n'a pas été associée à une lave torrentielle suffisamment volumineuse pour atteindre la



Clarée. Durant cet épisode, la contribution du bassin de réception à la charge solide mobilisée semble avoir été négligeable. L'essentiel de celle-ci a été prélevé en amont du cône de déjection, directement dans le lit du torrent rechargé à peine plus de quatre mois auparavant par la crue du 13 juin 2000 (fig. 7A, secteur I, profils transversaux A à E). Les 1500 à 2000 m<sup>3</sup> de matériaux ainsi mobilisés ont ensuite transité dans le chenal d'écoulement par l'intermédiaire de quatre petites bouffées dont on retrouve les traces sous formes de bourrelets latéraux et frontaux entre 1525 et 1500 m d'altitude (fig. 7A, secteur II, profils transversaux

Fig. 4 – **Évolution contemporaine de la bande active sur le cône de déjection du torrent des Acles.** A : aquarelle militaire de 1895. 1 : limites de la bande active ; (1) CNAM, Centre National d'Aguerissement en Montagne, Briançon. B : le cône de déjection. ; 2 : extension de la bande active torrentielle en 1939 ; 3 : bâtiments construits avant 1939 ; 4 : bâtiments construits entre 1939 et 1986 ; 5 : bâtiments construits après 1986. C : évolution de la largeur de la bande active. (2) indice 100 = largeur moyenne de la bande active en 1939 ; boîtes à moustaches : les rectangles gris représentent l'écart interquartile, les lignes verticales représentent l'écart inter-décile, W correspond à la largeur moyenne (indice 100 pour 1939), les valeurs en pourcentages correspondent aux taux de variation de la bande active torrentielle entre les dates.

Fig. 4 – **Contemporary changes in active channel width on the alluvial fan of the Torrent des Acles.** A. Military watercolours of 1895. 1: active channel limits; (1) Centre National d'Aguerissement en Montagne de Briançon. B. Alluvial fan. 2: active channel area in 1939; 3: house built before 1939; 4: house built between 1939 and 1986; 5: house built since 1986. C. Evolution of active channel width. (2) index 100 = mean value of active channel width in 1939; box and whiskers plots: grey boxes represent inner and outer quartiles, vertical lines represent inner and outer decile, W represents mean values of active channel width for each date (index 100 for 1939), values in per cent represent the rate of channel narrowing between dates.

F et G). Vers l'aval, les processus de charriage ont pris le relais (fig. 7A, secteur III, profils transversaux H à O). L'alternance de secteurs d'incision et de zones d'accumulation n'est pas sans rappeler les mécanismes de substitution de charge déjà décrits sur d'autres organismes torrentiels de haute montagne (Peiry, 1990 ; Lahousse et Salvador, 1998). La cartographie géomorphologique détaillée effectuée sur une partie de ce tronçon permet de mieux cerner le caractère mixte de la crue torrentielle du 15 octobre 2000 (fig. 7B, site 2). On y distingue en effet deux niveaux de terrasses ouverts dans les dépôts des crues torrentielles de septembre 1999 et de juin 2000, qui traduisent une tendance à l'incision dans la moitié supérieure du secteur cartographié. Au-dessous de 1475 m d'altitude, la tendance est à l'exhaussement du lit (fig. 7A, profils transversaux M à O), phénomène cependant atténué artificiellement par son remaniement à la pelle mécanique.

Pour résumer, on observe le long du chenal d'écoulement du Ravin des Sables un étagement des formes depuis les dépôts grossiers issus de laves torrentielles et déposés en vrac, que l'on observe à l'amont, jusqu'aux alluvions triées qui s'étendent majoritairement dans la section aval. Cela souligne la diversité mais aussi le caractère concomitant des processus de transport lors des crues de faible fréquence et forte magnitude. Celle du 15 octobre 2000 en était bien une si l'on considère ses effets morphogènes : jusqu'à 3 mètres d'incision et d'accumulation dans certains secteurs (fig. 7A, profils transversaux D à G notamment).

Le 18 juin 2002, en fin d'après-midi, un orage centré sur la crête du Serre des Aigles a entraîné la crue simultanée des torrents de Malefosse et de l'Enrouye (fig. 1). Proches et inscrits dans les mêmes séries sédimentaires, principalement des dolomies, des brèches dolomitiques et des calcaires du Trias, ces torrents se distinguent néanmoins par la taille de leur bassin de réception : 1,6 km<sup>2</sup> pour le Malefosse et seulement 0,2 km<sup>2</sup> pour l'Enrouye. Comme les



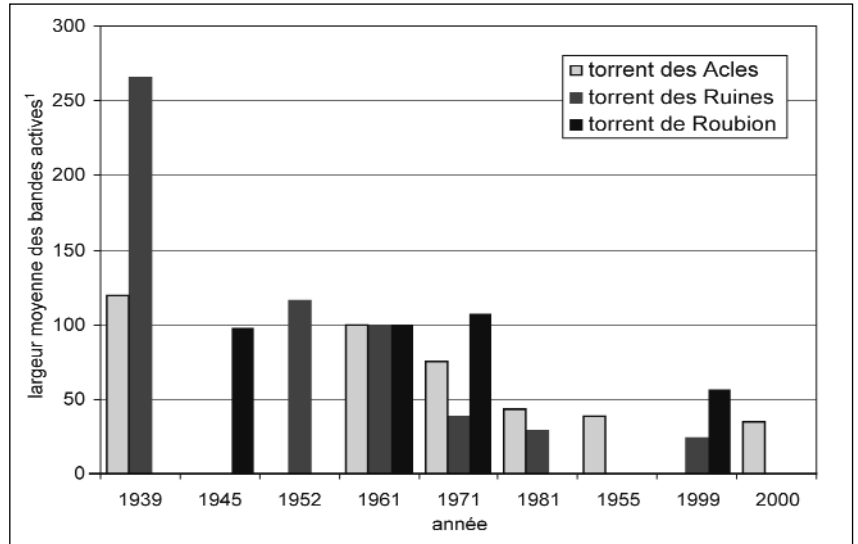
Fig. 5 – Évolution de la largeur de la bande active sur le cône de déjection de trois torrents. (1) indice 100 = largeur moyenne des bandes actives en 1961.

Fig. 5 – *Changes in active channel width on the alluvial fans of three torrents.* (1) index 100 = mean value of active channel width in 1961.

altitudes extrêmes sont à peu près équivalentes entre 1 350 et 2 500 m, le chenal d'écoulement du Malefosse est moins raide que celui de l'Enrouye, respectivement 16 et 28 %.

Fig. 6 – L'activité torrentielle contemporaine sur le cône de déjection du Ravin des Sables. Âge des laves torrentielles identifiées sur le cône de déjection, 1 : entre 1945 et 1961 (14 juin 1957 ?) ; 2 : entre 1939 et 1945 ; 3 : avant 1850 ; 4 : lave torrentielle du 24 juillet 1995 ; 5 : chemin ; 6 : ligne électrique ; 7 : axe du profil en travers du cône de déjection ; 8 : chenal actuel.

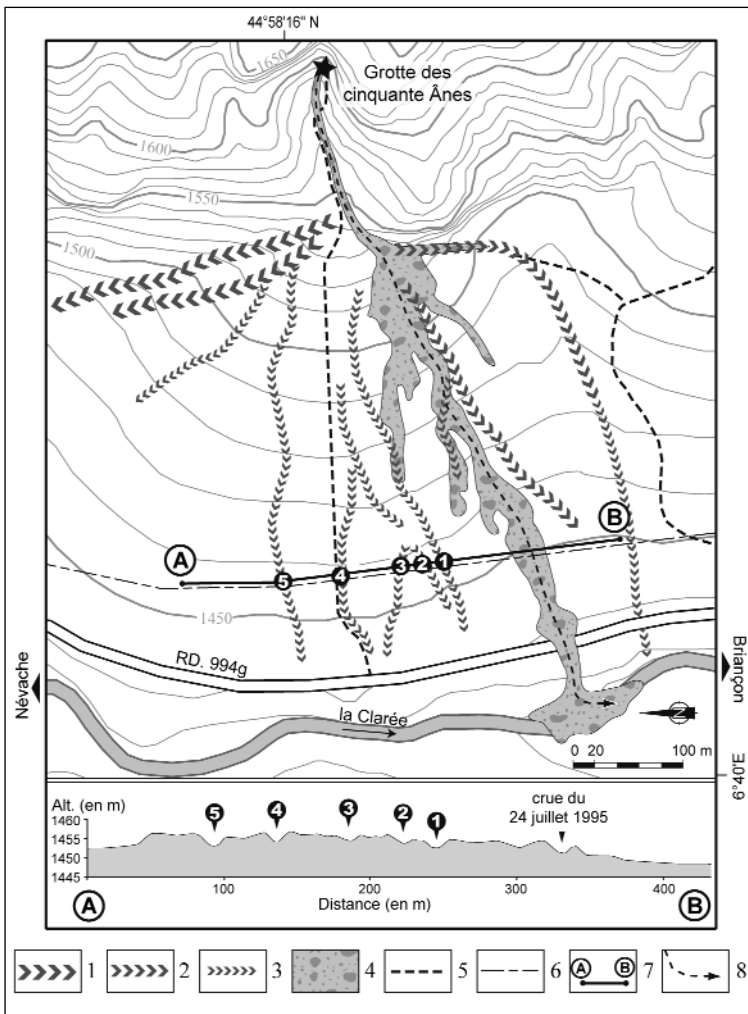
Fig. 6 – *Contemporary torrential activity on the Ravin des Sables alluvial fan.* Age of debris flows identified on alluvial fan, 1: between 1945 and 1961 (June 14th, 1957 ?); 2: between 1939 and 1945; 3: before 1850; 4: debris flow of the July 24, 1995; 5: path; 6: power line; 7: location of alluvial fan cross-section; 8: actual stream channel.



D'après l'enquête historique, ces deux torrents n'auraient auparavant débordé simultanément qu'à deux reprises : le 9 juillet 1956 et le 3 août 1990 (Blanchard *et al.*, 2006). Cela ne reflète certainement pas la réalité car, privé de che-

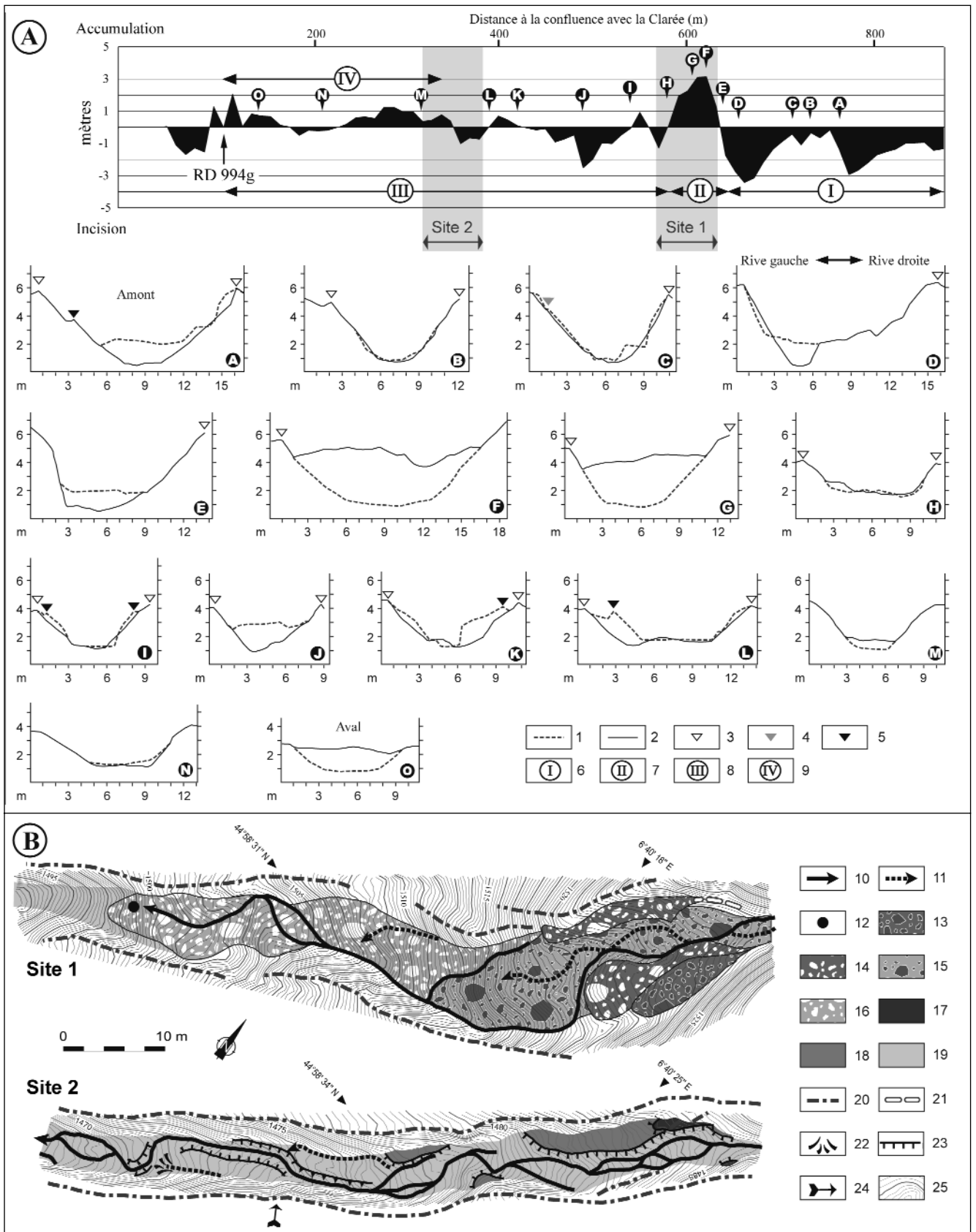
Fig. 7 – Impact géomorphologique de la crue du 15 octobre 2000 dans le chenal d'écoulement du Ravin des Sables (secteur du cône de déjection). A : évolution des profils longitudinaux et transversaux. 1 : état des profils transversaux en juillet 2000 ; 2 : état des profils transversaux en juillet 2001 ; 3 : bourrelets latéraux de la lave torrentielle du 24 juillet 1995 ; 4 : bourrelets latéraux de la lave torrentielle du 20 septembre 1999 ; 5 : bourrelets latéraux de la lave torrentielle du 13 juin 2000 ; 6 : zone d'initiation de la lave torrentielle ; 7 : bourrelets latéraux et frontaux de la lave torrentielle ; 8 : secteur de charriage ; 9 : secteur reprofilé à la pelle mécanique après la crue du 13 juin 2000. B : Cartes géomorphologiques détaillées de deux secteurs du chenal. 10 : chenal en eau ; 11 : chenal à sec ; 12 : perte ; 13 à 16 : dépôts individualisés de la lave torrentielle du 15 octobre 2000 ; 17 : haute terrasse alluviale (septembre 1999) ; 18 : moyenne terrasse alluviale (juin 2000) ; 19 : fond alluvial actuel ; 20 : bourrelets latéraux associés à la lave torrentielle du 24 juillet 1995 ; 21 : bourrelets latéraux associés à la lave torrentielle du 13 juin 2000 ; 22 : micro-cône de déjection ; 23 : rebord de terrasse ; 24 : amont de la zone reprofilée à la pelle mécanique ; 25 : courbes de niveau (équidistance 0,2 m).

Fig. 7 – *Geomorphologic impact of the October 15, 2000 flood in the Ravin des Sables stream (alluvial fan area).* A: evolution of stream channel. 1: cross-section in July 2000; 2: cross-section in July 2001; 3: lateral levees of the debris flow of July 24, 1995; 4: lateral levees of the debris flow of September 20, 1999; 5: lateral levees of the debris flow of June 13, 2000; 6: debris flow source area; 7: terminal lobes and lateral levees of the debris flow; 8: bed-load transport section; 9: artificial refilled channel. B: detailed geomorphological mapping of two stream channel sections. 10: low flow channel; 11: temporary channel; 12: swallow hole; 13 to 16: debris-flow deposits of October 15, 2000; 17: highest alluvial terrace (September, 1999); 18: intermediate alluvial terrace (June 2000); 19: channel fill; 20: lateral levees of the debris flow of July 24, 1995; 21: lateral levees of the debris flow of June 13, 2000; 22: micro-debris fan; 23: terrace slope; 24: beginning of the artificially refilled section; 25: contours (equidistance 0.2 m).



nal d'écoulement sur une partie de son cône de déjection, le torrent de l'Enrouye n'a que très rarement atteint et engravé la route départementale 994g menant à Névache. En fait, ses excès généralement limités à des épandages sous forêt sont

probablement restés le plus souvent sans écho dans les documents d'archives. Étant au contraire traversé par la route nationale 94 reliant la France à l'Italie par le col de Montgenèvre, le torrent de Malefosse a toujours fait l'objet



d'une attention particulière (19 crues référencées depuis 1856). L'enjeu que représente cet axe de circulation majeur à l'échelle des Alpes occidentales a même justifié entre 1907 et 1953 (les aménagements antérieurs ayant tous été détruits lors d'une crue en 1883) l'implantation d'un important dispositif de correction torrentielle qui n'a cessé ensuite d'être entretenu et renforcé par les services RTM (fig. 8C).

Les mesures topométriques effectuées avant et après la crue du 18 juin 2002 (4 profils en long et 130 profils en travers relevés en novembre 2001 et juillet 2002 dans le Malefosse, en juin et juillet 2002 dans l'Enrouye) permettent donc d'appréhender précisément la réponse de ces deux organismes torrentiels limitrophes au même événement météorologique. L'évolution des profils longitudinaux et transversaux montre ainsi une dynamique de transfert de charge radicalement différente (fig. 8A et fig. 9). Dans le cas du torrent de Malefosse, les 5 000 à 6 000 m<sup>3</sup> de matériaux ayant obstrué la confluence avec la Durance ont été arrachés tout au long du chenal d'écoulement. Il en résulte un abaissement généralisé du tal-

weg, même de part et d'autre des barrages RTM qui étaient jusque-là submergés par une importante charge de fond. Le Ravin de l'Enrouye présente, de son côté, une succession de secteurs d'incision et d'accumulation qui rappellent, comme dans le cas du Ravin des Sables, les mécanismes de substitution de charge habituellement évoqués pour le charriage. Cependant, une partie au moins du transfert de cette dernière s'est réalisée sous forme d'une lave torrentielle, comme l'attestent les levées latérales identifiées (fig. 9). L'absence de telles formes dans le lit du Malefosse nous conduit en revanche à suggérer un écoulement torrentiel hyperconcentré et un transport par charriage de la charge grossière (fig. 8A).

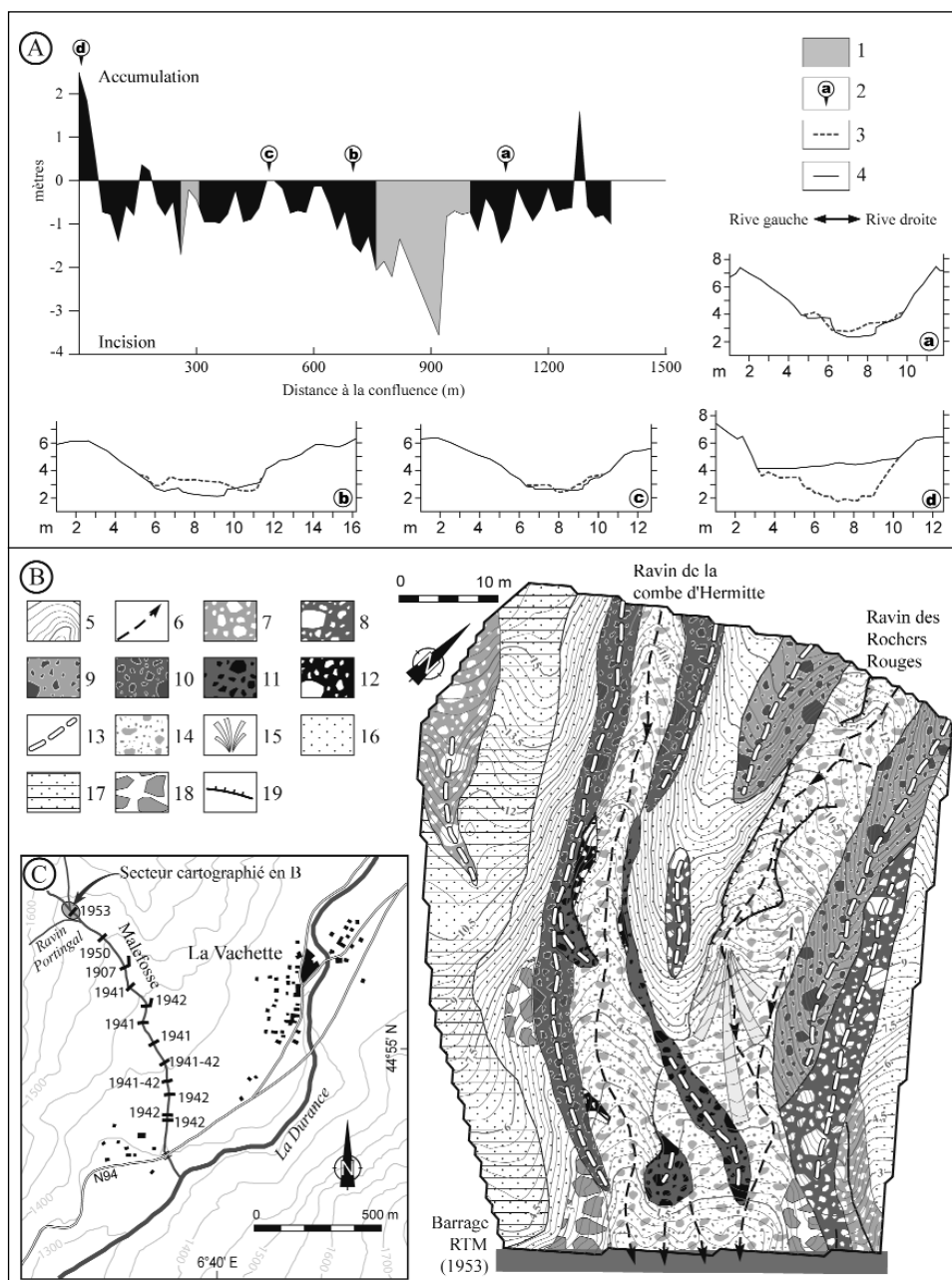
La pente moyenne du chenal d'écoulement et la taille respective des bassins de réception, dont dépend étroitement la vitesse de concentration des eaux de ruissellement, suffisent probablement à expliquer la réponse différente de ces deux

**Fig. 8 – Impact de la crue du 18 juin 2002 sur le chenal d'écoulement du torrent de Malefosse.** A :

évolution du profil longitudinal. 1 : secteur remanié à la pelle mécanique ; 2 : localisation des profils transversaux ; 3 : état des profils transversaux avant la crue ; 4 : état des profils transversaux après la crue. B : cartographie géomorphologique détaillée d'une section du chenal d'écoulement ; 5 : courbes de niveau (équidistance 0,3 m) ; 6 : écoulement intermittent ; 7 à 12 : dépôts de lave torrentielle (dans l'ordre chronologique) ; 13 : bourrelet latéral de lave ; 14 : alluvions torrentielles ; 15 : étalement de matériaux sableux en surface ; 16 : versant taillé dans le cône de déjection ; 17 : secteur remanié à la pelle mécanique ; 18 : enrochements ; 19 : rebord de terrasse. C : dispositif de correction torrentielle.

**Fig. 8 – Morphologic impact in the Malefosse stream of the June 18, 2002 flood.** A :

longitudinal evolution. 1: artificially refilled section; 2: cross-sections location; 3: cross-sections before the flood; 4: lateral levees of the flood. B: detailed geomorphological mapping of a stream channel section. 5: contours (equidistance 0.3 m); 6: intermittent flow; 7 to 12: debris-flow deposits (in chronological order); 13: lateral debris flow levees; 14: torrential deposits; 15: sandy deposits; 16: slope in alluvial fan; 17: artificial refilled section; 18: stone bedding; 19: terrace. C: stream channel regulation system.



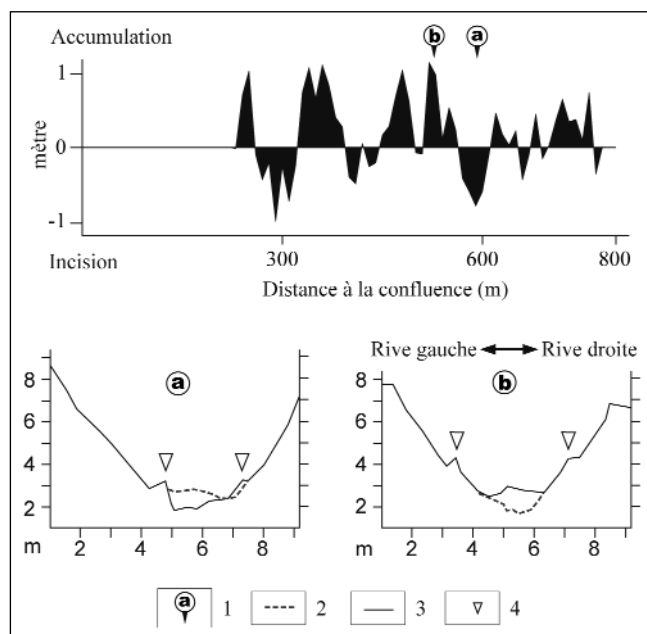


Fig. 9 – Impact de la crue du 18 juin 2002 sur le profil longitudinal du chenal d'écoulement du torrent de l'Enrouye. 1 : localisation des profils en travers ; 2 : état des profils transversaux avant la crue ; 3 : état des profils transversaux après la crue ; 4 : bourrelets de lave torrentielle du 18 juin 2002.

Fig. 9 – Morphologic impact in the Enrouye stream of the June 18, 2002 flood. 1: cross-section location; 2: cross-sections before the flood; 3: cross-sections after the flood; 4: lateral levees of the June 18, 2002 debris flow.

torrents limitrophes au même événement météorologique du 18 juin 2002. Sur celui de Malefosse, il convient de constater que, lors de cette crue, aucun bourrelet torrentiel n'a pu être identifié immédiatement à l'amont du barrage construit en 1953 par les services RTM (fig. 8C). Or, les observations effectuées en mai 2002 avaient permis d'établir qu'il s'agissait d'un secteur favorable à l'enregistrement du passage des laves torrentielles puisqu'il portait à cette date les traces d'au moins six générations de bourrelets (fig. 8B). Et ce n'est pas non plus dans le Ravin de Portingal (fig. 8C), dont les coulées de débris sont pourtant très fréquentes, que les preuves d'une initiation de lave torrentielle dans la partie supérieure du bassin versant ont pu être retrouvées. La forte pente et la charge disponible au fond du lit y étaient pourtant favorables. C'est à sa position géographique marginale que la branche occidentale du torrent de Malefosse doit de rester à l'écart de la cellule orangeuse. Quoi qu'il en soit, les barrages implantés le long du Malefosse n'ont pas eu à subir le passage d'une lave torrentielle le 18 juin 2002 mais un écoulement hyperconcentré au sein duquel le transport de la charge grossière a été réalisé par charriage.

## Discussion

### Les spécificités de l'ajustement morphologique des torrents depuis 1850

Les investigations menées dans l'ensemble de la vallée ont permis d'exclure l'hypothèse qu'un abaissement du

niveau de base local soit à l'origine de la contraction et de l'incision des bandes actives qui caractérise l'ajustement morphologique contemporain des torrents affluents de la Clarée (Garitte, 2006). Cela tend dès lors à privilégier l'hypothèse généralement admise d'un tarissement du transit sédimentaire conduisant à une modification du rapport entre débit solide et débit liquide (Friedman *et al.*, 1996). Toutefois, dans la vallée de la Clarée ce phénomène apparaît original par rapport aux modèles déjà décrits dans les Préalpes du Sud (Liébault et Piégay, 2002 ; Liébault, 2003). Ici l'évolution ne se résume pas uniquement à une rétraction des bandes actives torrentielles. En effet, plusieurs torrents ont un cône de déjection dépourvu de chenal d'écoulement. Dans leur cas, l'évolution contemporaine de la torrentialité s'est plutôt traduite par une réduction de la zone d'emprise entretenue par les crues de faible et moyenne fréquence (période de retour inférieure à 5 ans). Il s'agit toujours d'organismes à écoulement épisodique, associés à de petits bassins versants de 1,3 km<sup>2</sup> en moyenne et en forte pente : leur dénivellée spécifique moyenne (rapport entre la dénivellée et la superficie du bassin versant) est de l'ordre de 1.

Alors que dans la Drôme, les crues majeures récentes n'ont généralement eu aucune conséquence morphologique importante (Liébault et Piégay, 2001), la plupart des torrents de la vallée de la Clarée sont encore susceptibles d'anéantir en l'espace d'une seule crue une partie de la forêt riveraine et ainsi de freiner la rétraction des lits. Cet aspect, déjà signalé dans les vallées intra-alpines de l'Ubaye et du Guil (Flez et Lahousse, 2003, 2004 ; Arnaud-Fassetta et Fort, 2004 ; Flez et Garitte, 2006), peut être ici illustré par la crue du torrent de Granon, le 22 juillet 1988. Lors de cet événement, les 15 000 à 20 000 m<sup>3</sup> de matériaux mobilisés sous forme de lave torrentielle ont eu un effet particulièrement destructeur sur la végétation riveraine. Seules quelques souches de mélèzes encore en place au fond du lit, et dont nous avons estimé l'âge par dendrochronologie entre 90 et 100 ans, témoignent, au même titre que la photographie aérienne de 1939, d'une ancienne occupation forestière sur la basse terrasse aujourd'hui totalement engravée (fig. 10). Toutefois cet événement apparaît comme un simple intermédiaire au regard de la tendance généralisée à la rétraction des lits torrentiels et l'absence de crue de forte magnitude depuis 1988 a d'ores et déjà permis aux espèces ligneuses d'entamer la colonisation de l'espace perdu.

Au-delà des caractéristiques propres à chaque torrent (morphologie, type d'écoulement, etc.) qui impliquent des modalités distinctes dans l'intensité et le rythme de l'évolution des bandes actives, la réversibilité épisodique du phénomène de rétraction observée dans le cas des affluents de la Clarée est en partie responsable du défaut de synchronisme dans l'ajustement morphologique de ces organismes aux changements environnementaux contemporains. Précoces sur le torrent de Roubion (fig. 2 A et A'), et même complètement aboutie avant 1939 sur celui de Granon (fig. 10), la contraction des bandes actives intervient principalement, et de manière régulière, durant la seconde moitié du xx<sup>e</sup> siècle dans le cas des Acles, alors qu'elle se concentre entre 1939 et 1952 le long des Ruines (fig. 5). Du

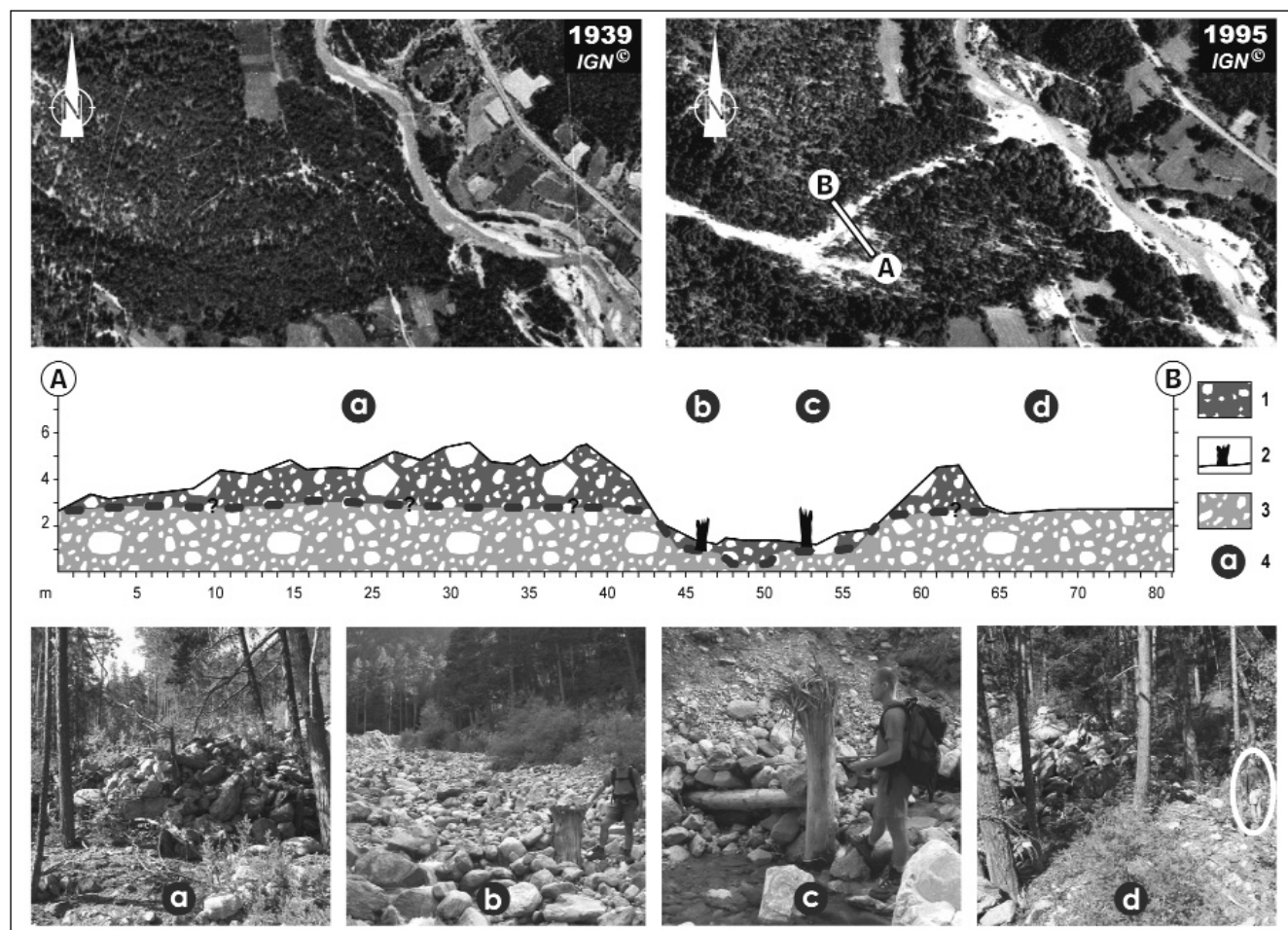


Fig. 10 – Impact de la crue du 22 juillet 1988 sur le cône de déjection du torrent de Granon. 1 : dépôts associés à la lave torrentielle du 22 juillet 1988 ; 2 : souches d'arbres en place dans le lit du torrent ; 3 : matériaux du cône de déjection ; 4 : localisation des photographies.

Fig. 10 – Geomorphic impact of the July 22, 1988 flood on the Torrent de Granon alluvial fan. 1: debris flow deposits of July 22, 1988; 2: tree stumps in the torrential stream; 3: alluvial fan deposits; 4: location of photographs.

coup, l'accélération de ce phénomène de rétraction souvent constatée dans les Alpes au cours de la période 1950-1970 (Billi et Rinaldi, 1997 ; Liébault, 2003 ; Flez et Lahousse, 2003, 2004) n'intervient pas dans ce secteur de la haute Durance.

### Les facteurs responsables de l'ajustement morphologique des lits torrentiels

Discerner le rôle respectif des facteurs bioclimatiques et anthropiques dans la contraction des bandes actives sur le cône de déjection des torrents est une entreprise souvent délicate dans la mesure où les interventions des services forestiers et la déprise rurale ont eu lieu consécutivement à l'amélioration climatique contemporaine.

Dans les affluents de la vallée de la Clarée, la rétraction des bandes actives semble avoir commencé indépendamment des travaux des services RTM puisque ceux-ci ne touchent que cinq torrents (fig. 1), dont la correction a été entreprise pour l'essentiel durant la seconde moitié du xx<sup>e</sup> siècle (Garitte, 2006). Ce n'est pas non plus la déprise rurale contemporaine qui peut ici expliquer la reconquête

forestière et le tarissement consécutif des sources sédimentaires. La pression pastorale n'a en effet cessé de croître dans les bassins versants au cours du xx<sup>e</sup> siècle, puisque la surface totale des alpages des communes de Névache et Val-des-Prés est passée de 1 355 ha en 1963 à 2 450 ha en 1997, et le nombre d'ovins, principalement transhumants, a augmenté de 6 750 en 1884 à 14 486 en 1997 (Briot, 1884 ; DDAF, 1963, 1997).

Du coup, l'influence des facteurs bioclimatiques semble être de premier ordre. Déjà à la fin du xix<sup>e</sup> siècle, dans une étude consacrée à l'évolution de la limite supérieure de la forêt, D. Martin (1890) rendait compte involontairement des effets de la péjoration climatique du petit âge glaciaire sur la couverture forestière. Il y décrit, en effet, « une retraite très marquée des diverses espèces forestières » et souligne que le « mouvement rétrograde de la végétation ne paraît pas appartenir exclusivement au xix<sup>e</sup> siècle, mais a dû commencer, il y a quelques centaines d'années ». Au contraire, les données statistiques fournies par l'ouvrage de P. Buffault (1913) et les relevés effectués depuis 1973 dans le cadre de l'Inventaire Forestier National (IFN) font état d'une forte progression du taux de boisement dans le Briançonnais de

13 % en 1913 à 21 % en 1999. De telles données n'existent pas pour la vallée de la Clarée. Les documents iconographiques anciens permettent cependant d'apprécier l'évolution de la couverture végétale dans quelques secteurs. Celui du Ravin des Fournéous est à ce propos remarquable car la progression du taux de couverture végétale, de l'ordre de 15 % en 1909 à près de 40 % en 2005, y est entièrement spontanée (fig. 1 ; Garitte, 2006). Logiquement, la forêt a essentiellement progressé dans la partie inférieure du versant au-dessous de 1 800 m d'altitude. À l'amont, la limite supérieure de la forêt est restée relativement stable et l'évolution se résume principalement à une densification des peuplements. Même si elle y est moins spectaculaire, la reconquête forestière est également perceptible dans le bassin versant du Creuzet (fig. 2 C et C'). Hormis sur le cône de déjection, où le développement de la forêt s'explique essentiellement par la déprise rurale, la végétation colonise ici encore les tabliers d'éboulis, privant ainsi le torrent d'une partie de ses apports en sédiments. Le cas du Roubion est plus délicat car nous n'avons retrouvé aucun document faisant état de l'étendue des reboisements effectués par les services forestiers. Quoi qu'il en soit, la définition en 1887 d'un périmètre de RTM de 234 ha dans la partie médiane du torrent ne peut suffire à rendre compte de la progression contemporaine de l'emprise forestière attestée par la comparaison de l'aquarelle militaire de 1895 avec la situation actuelle (fig. 2A et A'). La reconquête forestière y est donc au moins en partie naturelle, comme dans le secteur excentré de la Combe St-Martin qui n'a pas subi l'intervention des services RTM (fig. 2A et A').

Le rôle inhibant de la forêt sur le volume des crues et le transit sédimentaire dans les bassins versants de montagne est un fait souvent démontré (Rey *et al.*, 2002 ; Cosandey *et al.*, 2005 ; Piégay *et al.*, 2004). Dans les bassins des affluents de la Clarée, l'originalité réside plutôt dans l'explication essentiellement climatique de la reconquête forestière qui, du coup, s'effectue en remontant logiquement vers l'amont des bassins versants. La position altitudinale des zones contributives devient un paramètre déterminant dans la chronologie de l'ajustement morphologique des torrents aux changements environnementaux contemporains. Ceux qui bénéficient de zones contributives suffisamment étendues à haute altitude ont pu ainsi entretenir plus longtemps de larges bandes actives sur leur cône de déjection. C'est le cas par exemple de celui des Acles, dont l'ajustement morphologique ne semble pas abouti (fig. 4 et fig. 5).

L'exemple des affluents de la vallée de la Clarée montre en définitive que les paramètres anthropiques (déprise rurale et interventions des services RTM essentiellement) peuvent n'avoir qu'une influence très secondaire dans le tarissement du transit sédimentaire à l'origine de l'évolution morphologique des torrents observée depuis la fin du petit âge glaciaire. Deux principaux facteurs semblent commander le rythme et l'intensité de l'ajustement morphologique des torrents sur leurs cônes de déjection : le réchauffement climatique succédant au petit âge glaciaire, qui favorise la reconquête végétale stabilisant les sources sédimentaires (Belingard et Tessier, 1998), et les caractéristiques géomor-

phologiques des bassins versants dont dépend la recharge sédimentaire des lits torrentiels.

## Conséquence de l'ajustement morphologique des lits torrentiels en terme de risque

Les caractéristiques morphologiques des cônes de déjection sont le résultat d'une histoire complexe, faite d'ajustements progressifs aux fluctuations des conditions environnementales et de métamorphoses brutales induites notamment par les crues de forte magnitude. L'évaluation de la dangerosité des torrents implique donc une étude d'ensemble conduite à différentes échelles emboîtées qui puissent rendre compte de la réduction contemporaine de l'emprise torrentielle sur les cônes de déjection, mais aussi de la persistance des crues de faible fréquence et forte magnitude potentiellement dommageables. Sans cette démarche, l'image rassurante que renvoient désormais les cônes de déjection conduira inexorablement à des aménagements pour lesquels l'aléa torrentiel sera négligé.

Dans la vallée de la Clarée, la pression immobilière est restée plus modérée que dans ses homologues briançonnaises résolument tournées vers le tourisme de masse. Pourtant, des exemples illustrant l'occupation récente de parties de cônes de déjection encore soumis à l'activité contemporaine des torrents y sont déjà nombreux. Situé sur la commune de Névache, le hameau de Plampinet est ainsi longtemps resté implanté à distance respectable des Acles (fig. 4B). Il faut dire que, pendant une bonne partie du <sup>xx</sup>e siècle, une large bande active a été préservée sur son cône de déjection, entretenant du même coup l'image d'un torrent dangereux. Mais à partir des années 1980, le processus de réduction de l'emprise torrentielle s'amorce plus nettement. Il s'accompagne d'une extension du noyau villageois sur le cône de déjection des Acles qui va aboutir à la construction d'une habitation dans une zone délaissée par le torrent, il y a moins d'un demi-siècle. La maison a été protégée en 2004 par une digue dont le coût fut de 64 600 euros en réponse à la crue du 15 octobre 2000 qui avait provoqué l'engravement d'une grande partie de la basse terrasse contemporaine.

Certes, l'analyse diachronique de l'emprise torrentielle contemporaine peut fournir les bases d'un zonage de l'aléa. Mais dans un contexte de changements environnementaux rapides, le maintien d'une vigilance adaptée passe aussi par la compréhension du fonctionnement actuel des torrents. Ainsi, le suivi topométrique des chenaux y contribue car il permet, à l'aide de moyens techniques simples et mobiles, d'obtenir une information précise et rapidement renouvelable.

## Conclusion

Dès la fin du <sup>xix</sup>e siècle, les ingénieurs de la Restauration des Terrains en Montagne n'hésitaient pas à exprimer leurs certitudes quant à l'extinction imminente des torrents par les techniques relevant du génie civil et biologique (Champ-

saur, 1900). Ils ne savaient pas, à l'époque, que leur vaste entreprise de correction allait bénéficier d'un contexte plus large de changements environnementaux qui conduiraient à une réduction généralisée des bandes actives torrentielles sur les cônes de déjection alpins. Bien évidemment, il ne s'agit pas de remettre en cause l'efficacité des actions de la RTM car elles ont permis, dans bien des cas, d'accélérer l'ajustement morphologique des lits torrentiels, mais aussi de limiter l'impact des crues de faible fréquence et forte magnitude dont l'occurrence s'est maintenue (Lahousse *et al.*, 2003). Force est de constater cependant que, dans la vallée de la Clarée, l'intervention des services RTM est restée ponctuelle et souvent tardive. Ce n'est pas non plus, comme dans d'autres secteurs des Alpes du Sud (Flez et Lahousse, 2003 ; Liébault, 2003), la déprise rurale qui est responsable de la reconquête forestière des bassins torrentiels. Délaisant les versants où alternent essentiellement corniches rocheuses et éboulis vifs, l'exploitation agricole est effectivement restée cantonnée en fond de vallée, les quelques zones d'alpages étant toujours utilisées. La superficie importante de ces zones non anthropisées explique que les torrents du bassin versant de la Clarée soient relativement peu sensibles aux modifications des modes de mise en valeur du territoire.

Ces constatations permettent de souligner le rôle prépondérant des paramètres bioclimatiques dans l'ajustement morphologique des lits torrentiels. Ceux qui ont été mis en évidence dans d'autres secteurs de moyenne montagne s'appliquent d'autant moins à la vallée de la Clarée que sa situation en haute montagne, comprise entre 1 350 et 3 070 m d'altitude, est propice aux précipitations orageuses pouvant déboucher sur le déclenchement de laves torrentielles aux effets morphogéniques significatifs. On mesure toute l'ambiguïté de la tendance séculaire à la rétraction de l'emprise torrentielle sur les cônes de déjection ; celle-ci doit être interprétée comme la réponse géomorphologique des torrents à la réduction de la fréquence des crues de faible et moyenne magnitude, et non pas comme la disparition progressive d'un aléa torrentiel toujours omniprésent en haute montagne. Là est le danger qui pourrait conduire à des dérives dans les projets d'aménagement des cônes de déjection.

### Remerciements

Les auteurs remercient les deux relecteurs anonymes et J.-C. Thouret pour leurs commentaires critiques et constructifs qui ont permis d'améliorer le manuscrit original, ainsi que Y. Gunnell (université Paris 7) et R. Wasson (Charles Darwin University) qui ont accepté de vérifier les textes en anglais.

### Références

**Arnaud-Fassetta G., Fort M. (2004)** – La part respective des facteurs hydroclimatiques et anthropiques dans l'évolution récente (1956-2000) de la bande active du Haut Guil, Queyras, Alpes françaises du Sud. *Méditerranée*, 1/2, 143-156.

**Ballandras S. (2002)** – L'évolution des formes de relief et des formations torrentielles alpines depuis 4700 BP. *Quaternaire*, 3/4, 267-277.

**Baraille S. (2001)** – *Les crues dommageables dans le bassin de la Haute Durance (Hautes-Alpes, France) : recensement depuis le xiv<sup>e</sup> siècle, signification climatique, facteurs météorologiques et prévision*. Thèse de l'université de Savoie, 604 p.

**Barféty J.-C., Lemoine M., (de) Graciansky P.C., Tricart P., Mercier D. (1996)** – Feuille Briançon (823). *Notice explicative de la carte géologique (1/50 000)*. BRGM, Orléans, 180 p.

**Belingard C., Tessier L. (1998)** – Trees, man and climate over the last thousand years in Southern French Alps. *Dendrochronologia* 15, 73-87.

**Billi P., Rinaldi M. (1997)** – Human impact on sediment yield and channel dynamics in the Arno River basin (central Italy). In Walling D.E. and Probst J.L. (Eds.), *Human impact on erosion and sedimentation*. IAHS Publication 245, Wallingford, 301-311.

**Blanchard R., Cœur D., Ravanat F. (2006)** – *Étude historique préalable à une cartographie informative des phénomènes naturels à risques*. Rapport inédit, Service de Restauration des Terrains en Montagne, Région Provence-Alpes-Côte d'Azur, 100 p.

**Briot F. (1884)** – *Étude sur l'économie pastorale des Hautes-Alpes*. Bureaux de la Revue des Eaux et Forêts, Paris, 144 p.

**Brochot S., (2004)** – Quand l'administration forestière se mettait en scène : les premières archives photographiques (1860-1914) de la Restauration des terrains en montagne. *Revue Forestière Française*, 56, 1, 65-83.

**Buffault P. (1913)** – *Le Briançonnais forestier et pastoral*. Editions Berger-Levrault, Paris, 231 p.

**CEMBREU (Centre Européen Médical Bioclimatique de Recherches et d'Enseignement Universitaire) (2004)** – *Moyenne mensuelle de jours d'orage à Briançon, période 1970-2003*. Fichiers numériques, Villard-St-Pancrace, Hautes-Alpes.

**Champsaur E. (1900)** – *Restauration et conservation des terrains en montagne. Les terrains et les paysages torrentiels*. Imprimerie Nationale, Paris, 64 p.

**Corine Land Cover (2000)** – *Données biophysiques sur l'occupation du sol*. Fichiers numériques, Institut Français de l'Environnement, Orléans.

**Cosandey C., Andreassian V., Martin C., Didon-Lescot J.-F., Lavabre J., Folton N., Mathys N., Richard D. (2005)** – The hydrological impact of mediterranean forest: a review of French research. *Journal of Hydrology* 301, 235-249.

**D.D.A.F. (1963)** – *Enquête pastorale dans les Alpes françaises*. Fichiers numériques, Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt des Hautes-Alpes, Gap.

**D.D.A.F. (1997)** – *Enquête unités pastorales*. Fichiers numériques, Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt des Hautes-Alpes, Gap.

**Flez C., Garitte G. (2006)** – Contribution à la connaissance des facteurs responsables de la rétraction contemporaine des bandes actives torrentielles. Tentative de régionalisation à travers l'exemple de quatre bassins versants élémentaires (Ubaye et Haute-Durance). In Allée P. et Lespez L. (Eds.), *L'érosion, entre société, climat et paléoenvironnement*. Presses Universitaires Blaise-Pascal, Collection « Nature et Sociétés », 291-296.

**Flez C., Lahousse P. (2003)** – Contribution to assessment of the role of anthropic factors and bio-climatic controls in contemporary torrential activity in the southern Alps (Ubaye valley,

- France). In Fouache E. (Ed.), *The Mediterranean World Environment and History*, Elsevier, 109-121.
- Flez C., Lahousse P. (2004)** – Example of Holocene alpine torrent response to environmental changes: contribution to assessment of forcing factors. *Quaternaire*, 167-176.
- Friedman J.M., Osterkamp W.R., Lewis W.M. (1996)** – The role of vegetation and bed-level fluctuations in the process of channel narrowing. *Geomorphology* 14, 341-351.
- Garitte G., (2006)** – *Les torrents de la vallée de la Clarée (Hautes-Alpes, France). Évolution contemporaine, dynamique actuelle et analyse géographique des risques associés*. Thèse de l'université des Sciences et Technologies de Lille, 388 p.
- Gautier E. (1992)** – *Recherches sur la morphologie et la dynamique fluviale dans le bassin du Buëch (Alpes du Sud)*, Thèse de l'université Paris X-Nanterre, 439 p.
- Jorda M. (1993)** – Histoire des paléoenvironnements tardi- et post-glaciaires sud-alpins de moyenne altitude. Essai de reconstitution cinématique. In *Géomorphologie et Aménagement de la Montagne*, Hommage à Pierre Gabert, CNRS, Caen, 99-111.
- Jorda M., Provansal M. (1996)** – Impacts de l'anthropisation et du climat sur le détritisme en France du Sud-Est (Alpes du Sud et Provence). *Bulletin de la Société Géologique de France*, 1, 159-168.
- Jorda M., Miramont C., Rosique T., Sivan O. (2002)** – Évolution de l'hydrosystème durancien (Alpes du Sud, France) depuis la fin du Pléniglaciaire supérieur. In Bravard J.-P. et Magny M., *Les fleuves ont une histoire : paléo-environnements des rivières et des lacs français depuis 15000 ans*. Ed. Errance, Paris, 239-249.
- Kilian W. (1902)** – *Notes pour servir à la géomorphologie des Alpes dauphinoises*. Masson, Paris, 26 p.
- Lahousse P., Romelé C. (2000)** – Le Ravin des Sables (Hautes-Alpes, France) : une nouvelle source de risque dans la vallée de la Clarée. *Géographie Physique et Quaternaire*, 3, 271-280.
- Lahousse P., Salvador P.-G. (1998)** – La crue torrentielle du Bez (Hautes-Alpes, Briançonnais), 24 juillet 1995. *Geodynamica Acta*, 3, 163-170.
- Lahousse P., Garitte G., Flez C. (2006)** – Conséquences cindyriques de la réduction de l'emprise des torrents alpins sur leur cône de déjection. In Oueslati A. et Karray M.R., *Risques Naturels et Environnement*. Ministère de la Recherche Scientifique, de la Technologie et du Développement des Compétences, Laboratoire CGMED, université de Tunis, 101-114.
- Lahousse P., Garitte G., Thénard L. (2003)** – Aléa et risque torrentiel dans le Briançonnais (Alpes françaises du Sud). *Cahiers de Géographie*, université de Savoie, Centre Interdisciplinaire Scientifique de la Montagne, 1, 191-201.
- Lahousse P., Salvador P.G., Flez, C. (2002)** – Comportement hydrogéomorphologique d'un torrent alpin depuis 1995. In Delahaye D., Levoy F., Maquaire O., *Geomorphology: from expert opinion to modelling*. CERG, Strasbourg, 167-174.
- Landon N., Piégay H. (1999)** – Mise en évidence de l'ajustement d'un lit fluvial à partir de documents d'archives : le cas de la haute Drôme. *Revue de Géographie Alpine*, 3, 67-86.
- Lebart L., (1997)** – La « restauration » des montagnes. Les photographies de l'Administration des forêts dans la seconde moitié du XIX<sup>e</sup> siècle. *Études photographiques*, 3, 82-101.
- Liébault F. (2003)** – *Les rivières torrentielles des montagnes drômoises : évolution contemporaine et fonctionnement géomorphologique actuel (massifs du Diois et des Baronnies)*. Thèse de l'université Lumière (Lyon 2), 358 p.
- Liébault F., Piégay P. (2001)** – Assessment of channel changes due to long-term bedload supply decrease, Roubion River, France. *Geomorphology* 36, 167-186.
- Liébault F., Piégay P. (2002)** – Causes of 20th century channel narrowing in mountain and piedmont rivers of Southeastern France. *Earth Surface Processes and Landforms* 27, 425-444.
- Martin D. (1890)** – Observations sur la marche rétrograde de la végétation dans les Hautes-Alpes. *Bulletin de la Société d'Études des Hautes-Alpes*, Gap, 137-156.
- Miramont C., Rosique T., Sivan O., Edouard J.-L., Magnin F., Talon B. (2004)** – Le cycle de sédimentation « postglaciaire principal » des bassins marneux subalpins : état des lieux. *Méditerranée*, 1/2, 71-84.
- Peiry J.-L. (1990)** – Les torrents de l'Arve : dynamique des sédiments et impact de l'aménagement des bassins versants sur l'activité torrentielle. *Revue de Géographie Alpine*, 1/3, 25-58.
- Piégay H., Salvador P.-G. (1997)** – Contemporary floodplain forest evolution along the middle Ubaye River, Southern Alps, France. *Global Ecology and Biogeography Letters* 6, 397-406.
- Piégay H., Walling D.E., Landon N., He Q., Liébault F., Petiot R. (2004)** – Contemporary changes in sediment yield in an alpine mountain basin due to afforestation (the Upper Drôme in France). *Catena* 2, 183-212.
- Rey F., Robert Y., Vento O. (2002)** – Influence de la végétation forestière sur la formation de dépôts sédimentaires en terrains marneux. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 1, 85-92.
- Rosique T. (1996)** – *Morphogenèse et évolution des paléoenvironnements alpins de la fin des temps glaciaires au début de l'Holocène : l'exemple de la moyenne Durance (Alpes françaises du Sud)*. Thèse de l'université de Provence (Aix-Marseille 1), 288 p.
- Thiéry E. (1891)** – *Restauration des montagnes, correction des torrents, reboisement*. Encyclopédie des Travaux Publics, Librairie Polytechnique Baudry et Cie., Paris, 527 p.

Article reçu le 19 juillet 2006, accepté le 30 août 2007



