



HAL
open science

Le torrent de boue de Chirlesti (Carpates de la Courbure, Roumanie) : un demi-siècle d'activité

Philippe Lahousse, Guillaume Pierre, Marian Ene, Daniel Diaconu, Mircea Visan

► To cite this version:

Philippe Lahousse, Guillaume Pierre, Marian Ene, Daniel Diaconu, Mircea Visan. Le torrent de boue de Chirlesti (Carpates de la Courbure, Roumanie) : un demi-siècle d'activité. *Physio-Géo - Géographie Physique et Environnement*, 2016, 10, pp.171-190. 10.4000/physio-geo.4948 . hal-03276702

HAL Id: hal-03276702

<https://hal.science/hal-03276702>

Submitted on 2 Jul 2021

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.

LE TORRENT DE BOUE DE CHIRLEȘTI (CARPATES DE LA COURBURE, ROUMANIE) : UN DEMI-SIÈCLE D'ACTIVITÉ

Philippe LAHOUSSE⁽¹⁾, **Guillaume PIERRE**⁽²⁾,
Marian ENE⁽³⁾, **Daniel DIACONU**⁽³⁾ et **Mircea VIȘAN**⁽³⁾

(1) : TVES-EA 4019, UFR de Géographie et Aménagement, Université Lille 1 Sciences et Technologies, Avenue Paul Langevin, 59 655 VILLENEUVE D'ASCQ cedex. Courriel : philippe.lahousse@univ-lille1.fr

(2) : GEGENA² - EA 3795, Département de Géographie, Université de Reims Champagne-Ardenne, 57 rue Pierre Taittinger, 51 096 REIMS cedex. **Auteur correspondant**. Courriel : guillaume.pierre@univ-reims.fr

(3) : Faculté de Géographie, Université de Bucarest, Bd. Nicolae Bălcescu 1, Sector 1, BUCAREST, ROUMANIE. Courriels : ene2466@gmail.com ; ddcwater@yahoo.com ; visanmirceacristian@gmail.com

RÉSUMÉ : Le torrent de boue de Chirlești, dans les Carpates de la Courbure, est un organisme atypique associant une morphologie de torrent et un dynamisme de coulée boueuse. Apparu au début des années 1950, dans un contexte de forte anthropisation, ce torrent de boue a immédiatement causé des dommages sur les habitations situées à son exutoire, et ses débris ont finalement atteint, en 2010, la route nationale et la voie ferrée qui empruntent la vallée du Buzău. Le suivi morphométrique de l'ensemble du torrent de boue entre 2002 et 2010, couplé avec l'analyse des précipitations, permet de préciser la dynamique de cette forme originale.

MOTS-CLÉS : torrent de boue, morphodynamique, risque, Carpates, Roumanie.

ABSTRACT : The mud torrent of Chirlești, located in the Carpathian Curvature, is an unusual body that combines torrent morphology with mudflow dynamics. Came into existence in early 1950s, as a result of a strong deforestation, this mud torrent has instantly threatened the settlements situated at his outlet. In 2010 the debris cone finally reached the main road and the railways that follow the Buzău valley. The morphometric survey of the whole mud torrent, between 2002 and 2010, coupled to rainfall data, allows specifying the dynamics of this original landform.

KEY-WORDS : mud torrent, morphodynamics, hazard, Carpathians, Romania.

I - INTRODUCTION

À la suite d'abondantes précipitations, en 1952 et 1953, de nombreux mouvements de terrain ont été réactivés ou sont apparus dans les Carpates de la Courbure (Fig. 1), où les versants abrupts, développés dans les flyschs friables et plastiques du Paléogène, ont été l'objet d'un déboisement drastique de la fin du XIX^{ème} siècle jusqu'au milieu du XX^{ème} siècle (C. MUICĂ et I. ZAVOIANU, 1996 ; N. MUICĂ et D. TURNOCK, 2007). À Chirlești, dans la vallée du Buzău, le torrent Curăturii (curătura signifiant déforesté) s'est alors transformé en torrent de boue drainant jusqu'au fond de la vallée les débris issus de niches d'arrachement sommitales, et détruisant ainsi une dizaine de maisons, des jardins et des vergers (Photo 1-a). Le phénomène a été décrit par L. BADEA et G. POSEA (1953), et le torrent Curăturii rebaptisé torrent de boue de Chirlești. Cinquante ans plus tard, et ce malgré la reconstitution du couvert forestier dès les années 1980, l'instabilité n'a cessé de s'étendre dans le bassin versant (Photo 1-c) (M. CONSTANTIN, 2002 ; P. LAHOUSSE *et al.*, 2004 ; D. BĂLTEANU et M. MICU, 2012), et en aval, corrélativement, la route, la voie ferrée et plusieurs maisons sont toujours

menacées. Afin de dresser un état des lieux, une série de mesures topographiques a été effectuée au tachéomètre à visée infrarouge (Leica TC 307S en 2002 et 2003 ; Pentax R-322 NX en 2009 et 2010). Le profil en long du torrent de boue a été levé en 2002, 2003, 2009 et 2010, ainsi qu'une série de 21 profils en travers répartis tout au long du chenal (en 2010, pour des raisons d'accessibilité, seuls les profils 1 et 3 ont été mesurés). La zone d'arrachement (en 2002 et 2003) et le cône d'épandage (en 2002, 2003 et 2009) ont fait l'objet d'une cartographie à grande échelle servant à l'établissement de croquis géomorphologiques. Les données climatiques utilisées (précipitations et températures, 1961-2015, Meteo România) sont celles de la station de Pătârlagele, localisée à 6 km en aval sur la rive droite du Buzău. Les paramètres géotechniques des matériaux de la coulée sont tirés de T. BURILESCU (2011) et de D. BĂLTEANU et M. MICU (2012). Au total, les quatre campagnes de terrain de 2002, 2003, 2009 et 2010 ont permis : 1/ de décrire (Photos 1) et de cartographier à grande échelle l'ensemble de cet appareil à morphologie de torrent, qui n'a pas d'exact équivalent dans les Carpates de la Courbure ; 2/ de suivre son évolution accélérée sur huit ans ; 3/ de poser la question des causes et du mécanisme de son fonctionnement. En automne 2010, la route a finalement été coupée et plusieurs maisons récentes englouties, traduction d'une absence de prise en compte du risque induit par cet organisme torrentiel.



Figure 1 - Localisation du terrain d'étude.

Fond de carte : [Wikimedia Commons](#).

II - CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL

Développée dans les nappes moldaves, le relief montagneux des Carpates de la Courbure constitue une unité topographique récente, drainée vers le sud-est. Le secteur à l'étude, dont les altitudes sont comprises entre 300 et 700 m, se situe dans la partie externe de la



Photos 1 - Le torrent de boue de Chirleşti.

- a. : vue générale du torrent [cliché : Guillaume PIERRE, 2002].
 b. : bourrelet de débordement et plan de glissement strié [cliché : Daniel DIACONU, 2015].
 c. : zone d'arrachement [cliché : Philippe LAHOUSSE, 2010].
 d. : front de coulée et RN 10 [cliché : Daniel DIACONU, 2010].
 e. :aménagement de l'avant du cône [cliché : Daniel DIACONU, 2013].

Nappe de Tarcău, constituée de flyschs paléogènes, déformés au Miocène en écaillés à vergence NO (Fig. 2). À la suite de mouvements épirogéniques d'âge valache (fini-pliocène) soulevant la partie amont d'une surface "villafranchienne" (plio-quadernaire) (L. BADEA et D. BĂLTEANU, 1982), le réseau hydrographique, antécédent, s'est encaissé dans les terrains paléogènes (et néogènes dans les Subcarpathes), perpendiculairement à la structure. Aujourd'hui encore, le taux de soulèvement régional est compris entre 0,5 et 2 mm/an, ce qui maintient la tendance au creusement des cours d'eau et accentue l'instabilité des versants. Cette néotectonique s'accompagne de séismes pouvant atteindre ou dépasser, trois ou quatre fois par siècle, la magnitude 7 sur l'échelle de Richter (K.A. LEEVER *et al.*, 2006), le dernier séisme de magnitude 7,2 s'étant produit à Vrancea en 1977 (D. BĂLTEANU, 2000). Les secousses sismiques favorisent, sinon le déclenchement de mouvements de terrain, du moins la fragilisation des matériaux.

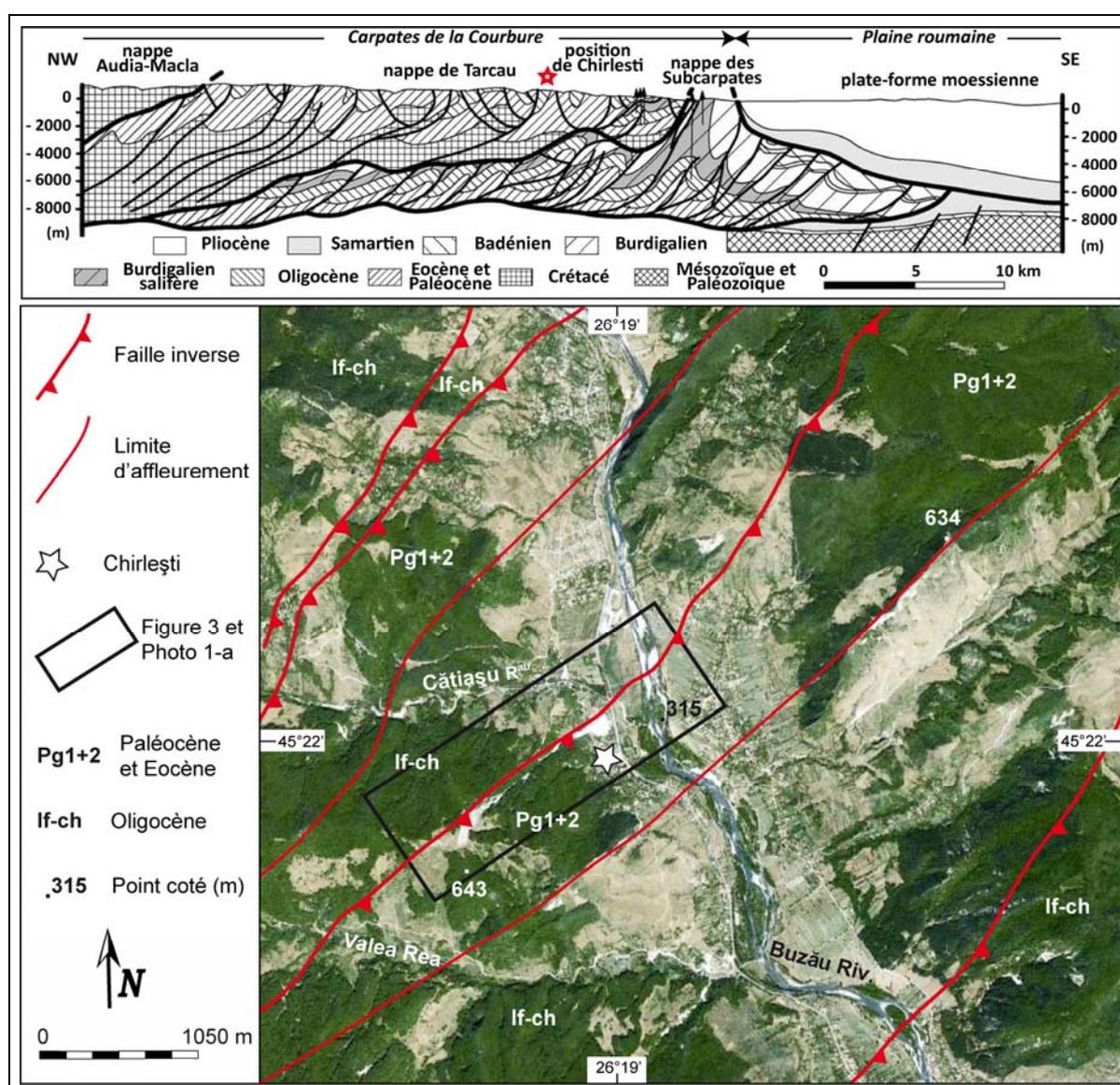


Figure 2 - Structure des Carpates de la Courbure (d'après L. MAȚENCO *et al.*, 2003, figure modifiée) et contexte morphostructural du torrent de boue.

Image Google™ earth du 20 juillet 2003.
Limites d'affleurement d'après I. DUMITRESCU *et al.* (1970).

À ce contexte morphotectonique favorable à l'érosion accélérée, il faut ajouter la dégradation récurrente de la couverture végétale liée aux activités humaines, dégradation sensible dès le Subatlantique (I. TANTAU *et al.*, 2009), et plus importante encore à l'Actuel (L. ZAHARIA, 1998). De fait, le long des versants du Buzău, les terrasses alluviales moyennes ont toutes été démantelées ou recouvertes par des glissements de terrain, dont les plus anciens, datés du début de l'Holocène (D. BĂLTEANU *et al.*, 2010), ont effacé les antécédents pléistocènes (L. BADEA et D. BĂLTEANU, 1982). Six kilomètres au sud de Chirleşti, la station météorologique de Părtălagele enregistre, sur la période 1961-2015, 642,3 mm de précipitations annuelles moyennes (dont 40 % en été) et une température annuelle moyenne de 10,4°C, avec -1°C en janvier et 20,5°C en juillet.

Le torrent de boue de Chirleşti, en rive droite du Buzău, entaille des formations du Paléocène et de l'Éocène (Yprésien, Lutétien, Priabonien) constituées d'une alternance de grès micacés, de schistes argilo-marneux et de marnes grises et vertes (faciès de Colți ; I. DUMITRESCU *et al.*, 1970), et redressées à la verticale. Sur le versant de rive gauche, au delà d'un contact par faille, les formations oligocènes (Lattorfien-Chattien) sont au contraire quasiment en position horizontale. L'Oligocène est constitué de grès sableux à intercalations de lits de schistes bitumeux (faciès Kliwa ; *ibidem*). Contrairement aux éléments d'ordre supérieur du réseau hydrographique (le Buzău et ses affluents), le torrent de boue de Chirleşti s'écoule selon une orientation conforme à la tectonique (Fig. 2). Le torrent s'étend, en 2010, sur 1300 m (sa longueur était de 1263 m en 2002), et comprend, du haut vers le bas (Fig. 3, Photo 1-a) : 1/ une zone d'arrachement comprise entre 620 m et 540 m d'altitude (elle culminait à 590 m en 1953) ; 2/ un chenal dont la pente moyenne est de 14 degrés et la largeur moyenne de 15 m (mais il s'est considérablement élargi en 2009 dans son tiers supérieur) ; 3/ un cône d'épandage, développé entre 350 m et 320 m d'altitude et large de 150 m à son front. Ce cône repose sur la terrasse du Buzău située à 10 m au-dessus du lit. C'est sur celle-ci que le village de Chirleşti est construit.

III - L'ÉVOLUTION DU TORRENT DE BOUE (2002-2010)

Depuis la zone source jusqu'au cône d'épandage, les matériaux de la coulée, très homogènes, sont constitués d'une matrice argilo-limoneuse (42 % d'argile et 58 % de limons en amont ; 48 % d'argile et 47 % de limons en aval ; $M_d \approx 2 \mu$), dans laquelle flottent quelques éléments grossiers en plaquette (schistes). En conditions drainées, l'angle de frottement interne de la matrice est de 6° et sa cohésion est de 5000 N/m². Les valeurs élevées de limite de liquidité (WL = 50 %) et d'indice de plasticité ($I_p = 35$) placent ces matériaux dans la catégorie "argiles minérales de forte plasticité", et ce mélange à comportement boueux produit des coulées boueuses au sens strict. L'analyse diachronique des profils longitudinaux et transversaux, ainsi que du modelé de l'amont et de l'aval du torrent de boue, permet d'en préciser la dynamique.

Dans la zone d'arrachement, les coulées de boue résultent de la liquéfaction de matériaux initialement glissés, comme l'indique le modelé : les coulées se situent toutes en aval de glissements de pan et de glissement rotationnels de petites tailles (Fig. 4), l'ajout d'eau par ruissellement (le long d'une ravine sommitale) contribuant en outre à la liquéfaction. En juin 2002, une unique coulée active atteint la côte 538 sur un replat, et en mai 2003 elle s'allonge par le haut et s'épaissit dans sa partie aval avec l'arrivée de matériaux supplémentaires. En

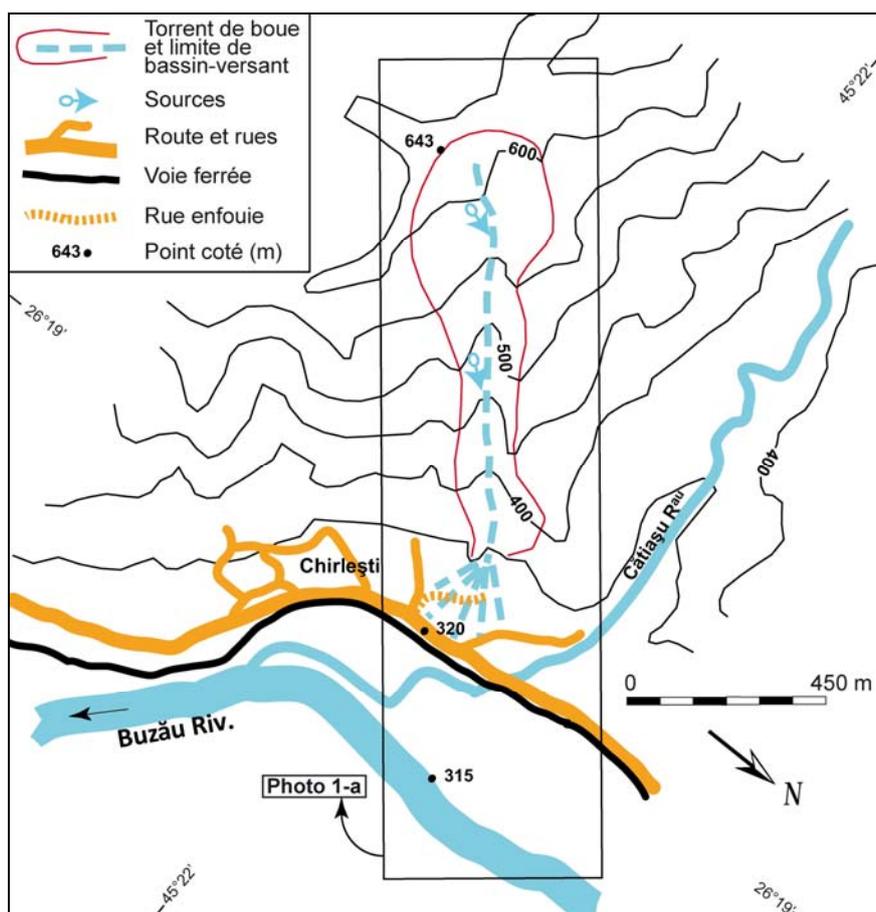


Figure 3 - Bassin versant du torrent de boue de Chirlești (d'après la carte topographique au 1/25000).

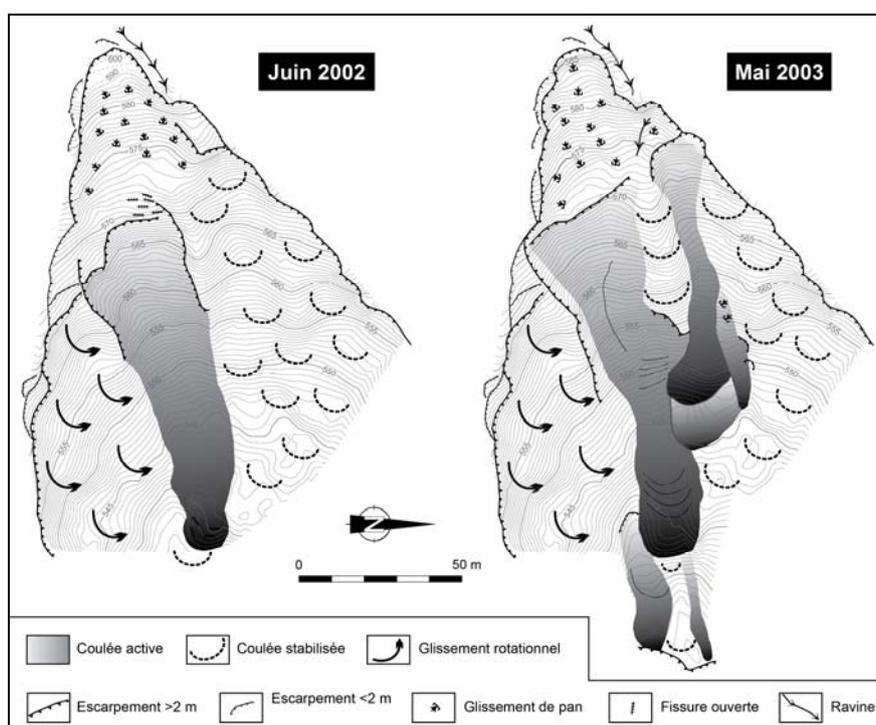


Figure 4 - Évolution de la zone d'arrachement en 2002-2003.

avant de cette coulée, deux coulées plus petites se forment à partir de dépôts stabilisés plus anciens, et sur son flanc gauche, un nouvel ensemble de coulées apparaît. Sur un an donc, aucune coulée ne quitte la partie amont de la zone d'arrachement. Sur la même période, le long du chenal, les matériaux se déplacent par "bouffées" successives (Fig. 5 et 6) : la partie amont du chenal (entre PK 1,1 et PK 1, et profils transversaux 21 et 20) s'est vidangée tandis que le reste du chenal présente des segments en accrétion (+1 m en moyenne) séparés parfois par des segments totalement vidangés où la roche en place affleure (au niveau par exemple du profil transversal n° 15). Ces épisodes de vidange permettent d'ailleurs d'évaluer l'épaisseur de la coulée, comprise entre 1 et 6 m. L'écoulement discontinu (dans l'espace et dans le temps) résulte probablement de la variation de la pente du lit, ainsi que de l'épaisseur et de la teneur en eau des matériaux (de l'eau peut ruisseler à partir des versants, émerger de niveaux de nappe, ou au contraire être évacuée par infiltration dans des secteurs où le substrat est plus perméable). Il n'y a donc manifestement pas de poussée depuis la niche mettant en mouvement l'ensemble du torrent de boue, et, le long du chenal, un bouchon en aval d'une zone vidée peut se remettre en mouvement indépendamment du reste de la coulée.

Entre 2002 et 2003, seule la vague boueuse la plus en aval commence à déborder sur le cône d'épandage dont le volume et la surface évoluent donc très peu (Fig. 7). Sur 6 ans (2003-2009), en revanche, la tendance est nettement à la vidange du chenal, ce qui se traduit par un abaissement du niveau de la coulée de 6 m par endroits (Fig. 5, Photos 2) et, localement, par son élargissement (en rive droite ; profil transversaux 12 et 14) (Fig. 6, Photo 2-c). Corrélativement, le cône d'épandage s'étend vers l'aval et sa surface s'élève d'une dizaine de mètres (Fig. 7). D'octobre 2009 à juin 2010, l'évolution est très rapide (Fig. 5, Photos 3) : la partie amont du chenal engraisse, à la fois par des apports depuis la zone amont (jusqu'au profil transversal 16) et par des apports latéraux (profils transversaux 14 et 13 : élargissement du chenal à la confluence d'une ravine de rive droite). En contrebas, la vidange est presque généralisée ; le cône d'épandage lui-même s'amincit globalement, mais en accroissant sa surface (Fig. 7). L'augmentation de volume du cône se traduit donc surtout par un étalement, l'arrivée de nouvelles coulées venues d'amont s'accompagnant d'une remobilisation des éléments plus anciens. À la surface du cône d'épandage, enfin, des ravines qui naissent en cul-de-sac, entaillent les coulées : l'eau semble sourdre des plans de discordance entre coulées (Fig. 7).

Le chenal, creusé à l'origine par le ruissellement concentré, évolue depuis un demi-siècle sous l'effet de mouvements de masse (les coulées boueuses), impliquant plus un élargissement qu'un approfondissement du drain. Le ruissellement stricto sensu, dans les secteurs où le lit rocheux affleure entre deux vagues boueuses, reste éphémère (voir Photo 3-d, en 2009). Assez régulièrement, la bordure du chenal est tapissée de restes de coulées qui servent d'encaissant aux remaniements et écoulements boueux postérieurs, lesquels sont alors délimités par des plans de glissement striés qui marquent nettement l'emboîtement des formes (voir Photo 1-b). En revanche, quand la coulée déborde du chenal, elle accumule des matériaux sur les berges, lesquels peuvent éventuellement être restituée au chenal par colluvionnement, abandonnant sur place la fraction la plus grossière (Photo 1-b). Dans ce cas, les levées latérales, souvent observées dans de telles circonstances (P. COUSSOT, 1993 ; P. COUSSOT et J.M. PIAU, 1993 ; R. DIKAU *et al.*, 1996 ; O. HUNGR *et al.* 2001 ; P. LAHOUSSE *et al.*, 2002 ; A. RECKING *et al.*, 2013) ne résultent pas d'un classement comme c'est le cas dans les coulées de débris très hétérométriques (où les gros blocs sont poussés sur les bords au fur et à mesure de la progression de la coulée – P. BERTRAN et P. COUSSOT, 2004).

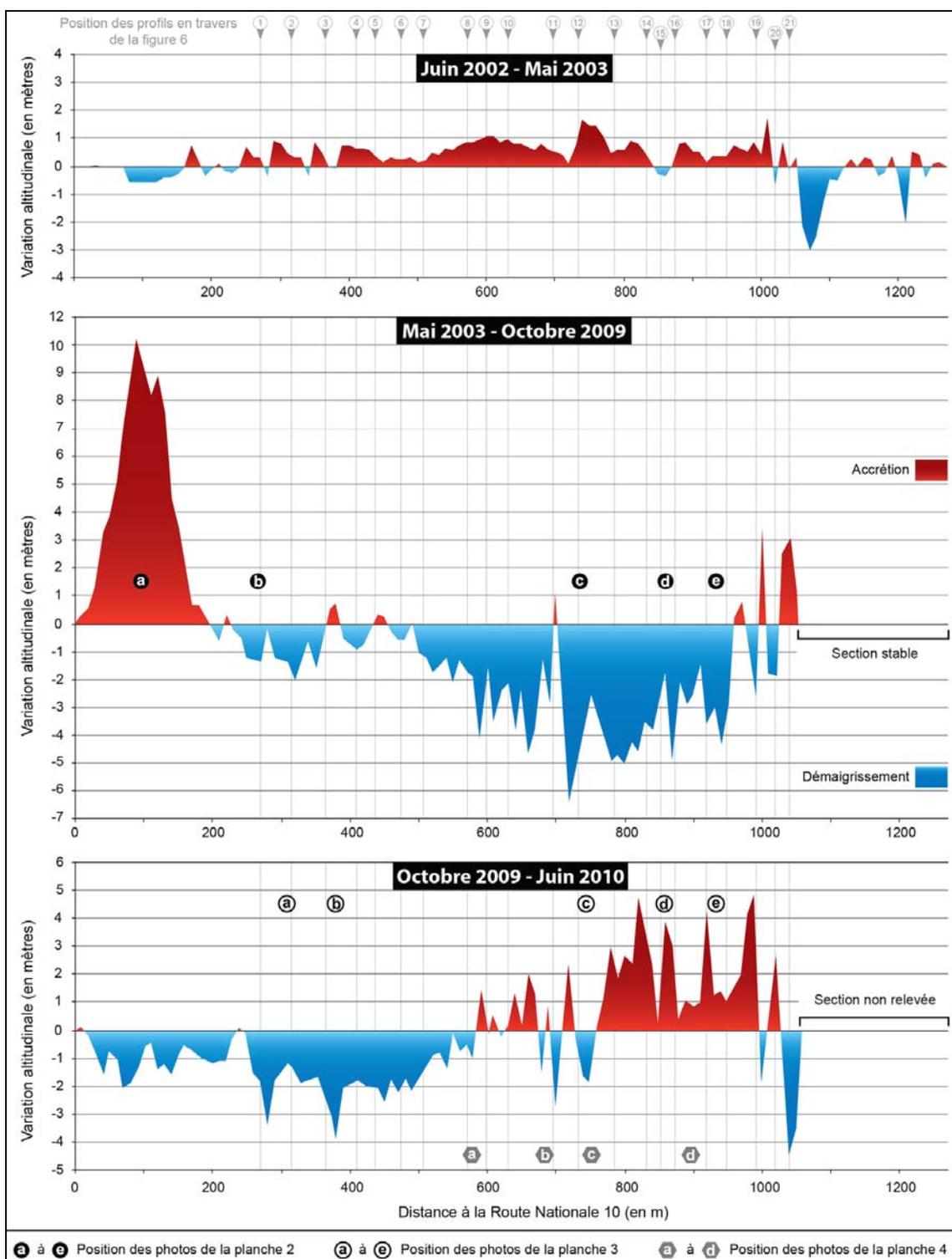


Figure 5 - Évolution du profil en long du torrent de boue de 2002 à 2010.

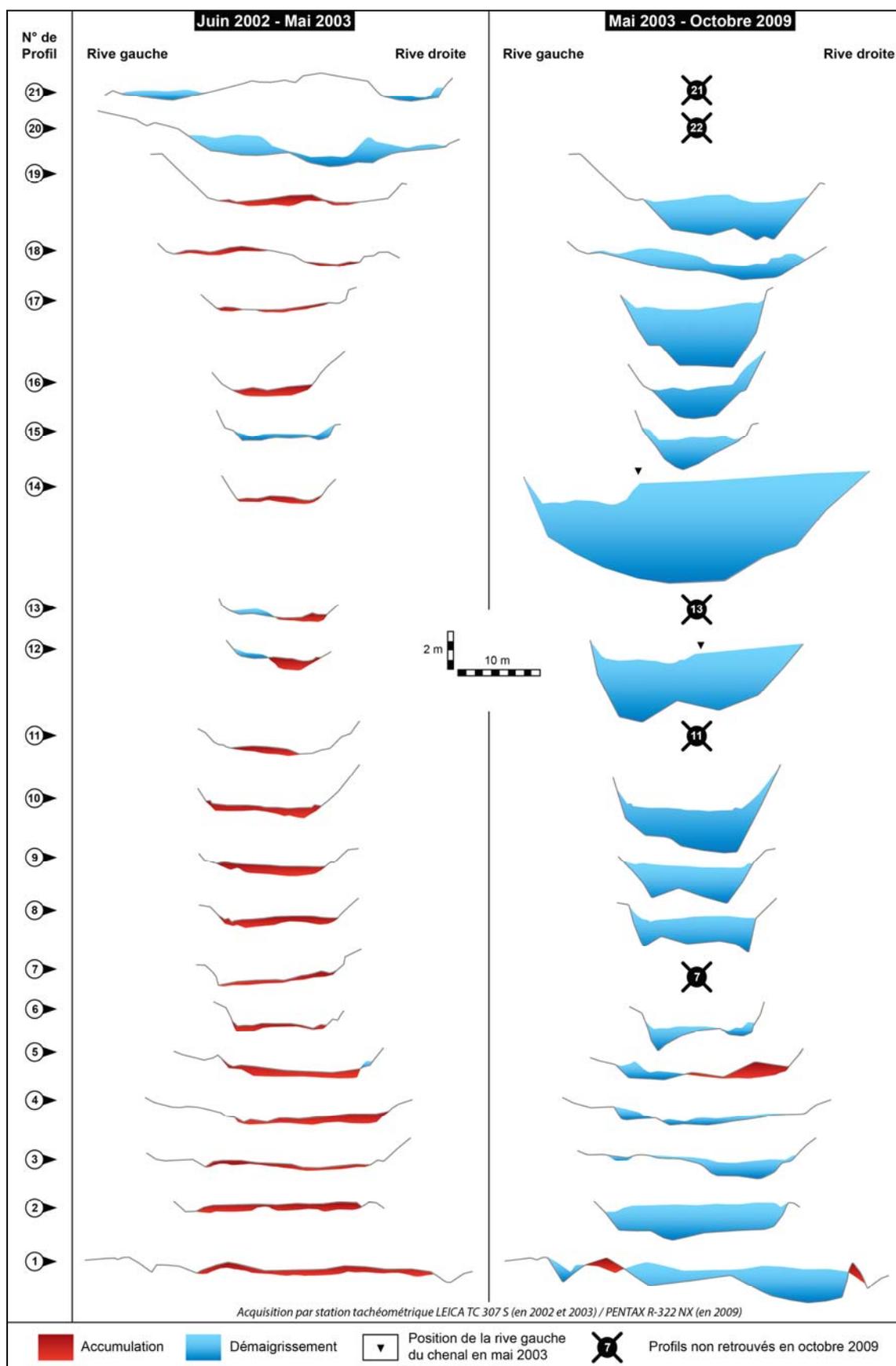


Figure 6 - Évolution des profils en travers du torrent de boue de 2002 à 2009.

Localisation des profils : voir figure 5.

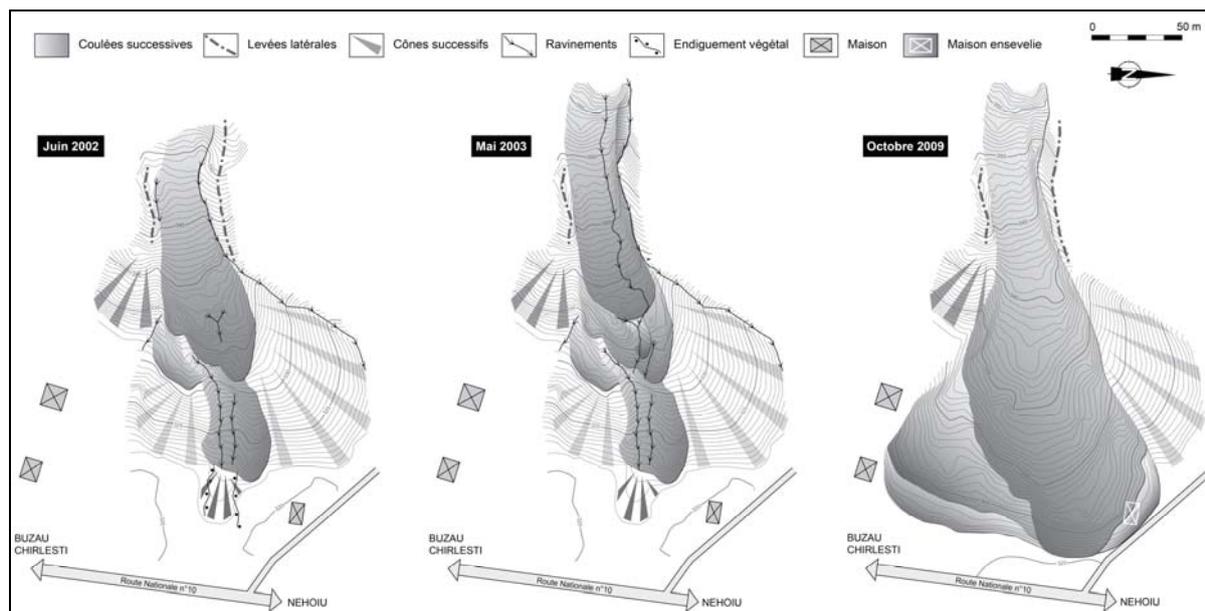


Figure 7 - Évolution du cône d'épandage de 2002 à 2009.

IV - DISCUSSION

1) Qu'est-ce qu'un torrent de boue ?

Les coulées boueuses sont fréquentes dans les flyschs et les molasses paléogènes des Carpates (D. BĂLTEANU, 2000). Longues de 200 à 300 m et épaisses de 1 à 5 m, ces coulées atteignent parfois le millier de mètres quand elles sont momentanément confinées dans des vallées (plutôt que dans un ravin, comme à Chirleşti) : dans ce cas, elles sont évacuées et remplacées durablement par un écoulement aqueux. Ce type est bien illustré par la "coulée de boue de Pănătău" (D. BĂLTEANU, 1976 ; M. CONSTANTIN, 1999), déclenchée par une averse torrentielle le 2 juillet 1975 (177,8 mm en 5 heures). Cette coulée a comblé, sur 3 à 4 m, une vallée de 3^{ème} ordre, tributaire de la rivière Pănătău, puis le talweg s'est vidangé, malgré une pente longitudinale relativement faible (comprise entre 5° et 12°). La vitesse de cet écoulement boueux, et sa vidange, s'expliquent probablement par le rapport entre l'intensité de l'averse et la taille importante du bassin versant, déterminant un degré de liquidité élevé d'argiles sableuses mio-pliocènes. Cette alternance d'écoulement torrentiel et de coulée boueuse est fréquente dans les flyschs et les molasses des Carpates (T. ZIȚTARA, 2000 ; D. BĂLTEANU et M. MICU, 2009).

Tel que décrit, le torrent de boue de Chirleşti se distingue donc d'une coulée de boue (ou de débris) typique (M.J. SELBY, 1993 ; P. BERTRAN et P. COUSSOT, 2004), à la fois par sa pérennité et par sa morphologie associant, comme un torrent, un "bassin" sommital, un chenal, et un cône. La morphologie du chenal, acquise dans les années 1940, est due au travail de l'eau lors d'une phase initiale de ruissellement favorisée par une coupe à blanc réalisée au début de cette décennie et par l'existence de sentiers utilisés pour descendre le foin des herbages (L. BADEA et G. POSEA, 1953) et, encore aujourd'hui à travers bois, les grumes, à l'aide de chevaux. Le faciès de Colți, mélangeant argiles et grès faiblement cimentés (I. DUMITRESCU *et al.*, 1970), a favorisé une puissante érosion linéaire et régressive. La sensibilité de ce type de matériau au ravinement a déjà été soulignée dans la molasse néogène des Subcarpathes (L. BADEA et D. BĂLTEANU, 1982). À Chirleşti, la profonde entaille torrentielle,



Photos 2 - Cinq secteurs du torrent de boue photographiés en 2003 et 2009.

[clichés : Philippe LAHOUSSE]

Localisation des photos : voir figure 5.



Photos 3 - Cinq secteurs du torrent de boue photographiés en 2009 et 2010.

[clichés : Philippe LAHOUSSE]

Localisation des photos : voir figure 5.

à son tour, contribue à déstabiliser les versants et les pentes amont du torrent, qui livrent au chenal une quantité de débris supérieure à la capacité d'évacuation de l'écoulement torrentiel aqueux. Ainsi, malgré des valeurs de pentes comprises entre 10° et 30°, donc plus fortes qu'à Pănătău, la vitesse de déplacement des débris est lente (probablement inférieure 0,5 m/s) et les matériaux atteignent progressivement le cône par relais successifs. La vitesse relativement lente de l'écoulement boueux s'explique sans doute aussi par la taille réduite du bassin versant (voir Fig. 3), qui, même en cas d'averse intense, ne peut pas collecter une grande quantité d'eau. D'autre part, la mise en mouvement de la coulée n'intervient pas seulement à la fin du printemps et en été – où se produisent les abats d'eau les plus importants (F. BIAGIONI et F. RAPETTI, 2005) – mais toute l'année, à la faveur d'exurgences de nappes (P. LAHOUSSE *et al.*, 2004). Deux lignes de sources, l'une à 580 m, l'autre à 480 m, semblent alimenter de façon continue le torrent de boue, de sorte que même pendant les périodes les plus sèches de l'année, un écoulement lent perdure sous une croûte superficielle qui, par endroits, se fissure. Ce régime d'écoulement quasi-continu, contrôlé par un aquifère multicouche, contribue certainement au caractère original du torrent de boue de Chirleşti. À l'inverse, dans la molasse miocène de la Nappe des Subcarpates (voir Fig. 2), quelques kilomètres au sud, en rive gauche du Buzău, le torrent de boue de Blidişel (sur la commune de Pănătău) a été très actif entre 1969 et 1975 (D. BĂLTEANU, 1976), période pendant laquelle les précipitations mensuelles estivales ont largement excédé la moyenne, mais il n'est plus actif de nos jours, probablement à cause d'une recharge insuffisante de la nappe : les années 1980, notamment, sont dominées par des séries sèches (Fig. 8). Sur ce site, le pendage contraire des barres rocheuses qui affleurent sur le versant n'est pas propice aux exurgences de nappe et contrarie, en outre, l'incision. Toujours dans les Subcarpates, l'irrégularité du fonctionnement de la coulée boueuse de Valea Viei, qui entaille un front de cuesta, s'explique de la même façon (A. VESPREMEANU-STROE *et al.*, 2006).

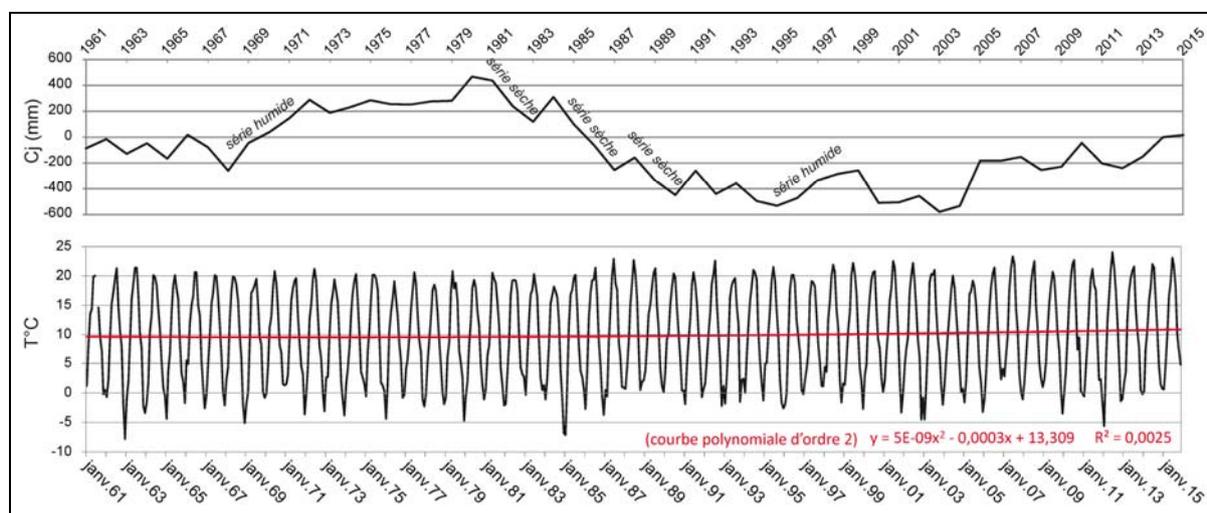


Figure 8 - CuSum des précipitations annuelles (C_j) et températures moyennes mensuelles à Pătârlagele sur la période 1961-2105.

C_j = cumul des écarts entre les précipitations annuelles et les précipitations annuelles moyennes.

2) Rythme d'évolution

S'il est vrai qu'un surcroît d'eau accélère l'écoulement boueux, les précipitations intenses

ne sont pas l'unique moteur de l'activité du torrent de boue de Chirleşti : une année normalement humide se solde par une activité continue du torrent et éventuellement une accrétion du cône. M. CONSTANTIN (2002) note ainsi une recrudescence de l'activité du torrent de boue de Chirleşti en 1996, 1997, 1998 et 1999, en relation avec une augmentation pluriannuelle des précipitations (Fig. 8), mais sans épisodes pluvieux remarquables. À l'inverse, en 2005, le total annuel des précipitations (993,6 mm) a été le plus élevé de la période 1961-2015 (moyenne : 642,3 mm), mais cela ne s'est pas traduit par une avancée notable du cône. Pourtant, les valeurs de précipitation du mois d'août 2005 (maximum en 24 heures : 40,6 mm et total mensuel : 165,6 mm) sont semblables à celles du mois de juillet 2010 (49,2 mm et 160,4 mm) où l'avancée du cône a été catastrophique. Comme l'année 2005 (993,6 mm) a été plus humide que l'année 2010 (826 mm), y compris pendant la première moitié de l'année (585,9 mm et 395,2 mm, respectivement), il n'est pas possible d'expliquer le dynamisme de l'été 2010 par un effet de cumul des précipitations. En revanche, il est probable que la fonte quasi-complète du manteau neigeux, lors d'un redoux affectant l'ensemble des Carpates de la Courbure en février 2010, et l'infiltration subséquente (M. MICU *et al.*, 2013) aient contribué à préparer tout au long du chenal des vagues boueuses que les pluies de l'été ont entraîné jusqu'au cône. L'épisode pluvieux de la nuit du 21 au 22 juin 2010 (34,6 mm) a sans aucun doute participé à la catastrophe de la deuxième moitié de l'année. En quelques heures, dans la moitié supérieure du chenal déjà en accrétion sur la période 2009-2010 (voir Fig. 5), le niveau de la coulée s'est élevé de plus d'un mètre par endroits, colmatant même des secteurs vidangés encore la veille (Photos 4). Au total, d'autant que les températures estivales ont tendance à augmenter depuis les années 1970 (F. BIAGIONI et F. RAPETTI, 2005 ; Fig. 8) et qu'elles ne vont donc pas dans le sens d'une diminution estivale de l'évapotranspiration qui serait favorable à un surplus hydrologique, les pluies diluviennes, fréquentes en été, activent significativement la coulée.

Par conséquent, l'occurrence d'épisodes pluvieux très intenses, tel qu'il s'en produit entre mai et août (moyenne mensuelle des quatre mois : 85 mm, contre 36 mm pour les huit autres mois, pour la période 1961-2015), peut déclencher une crue boueuse, y compris une année moyennement humide (1975, et 2010 pour les 6 premiers mois). Cependant la prévision de l'activité du torrent de boue de Chirleşti ne peut être uniquement cernée de façon probabiliste, à partir de l'analyse du régime pluviométrique, comme cela semble être le cas pour d'autres mouvements de terrain (C. DRAGOTĂ *et al.*, 2008 ; D. BĂLTEANU et M. MICU, 2009 ; M. CONSTANTIN *et al.*, 2009, 2010), dont la réponse aux épisodes pluvieux intenses n'est d'ailleurs pas toujours immédiate (A. VESPREMEANU-STROE *et al.*, 2006). Dans le cas de Chirleşti, à la lumière du CuSum des précipitations, on constate qu'il n'y a pas de relation de cause à effet entre séries humides (suite d'années où le total annuel des précipitations est supérieur à la moyenne) et recrudescence de l'activité du torrent ; de même, l'activité "torrentielle" peut être manifeste au cours de périodes où les totaux annuels sont proches de la moyenne (comme entre 1973 et 1979, ou entre 2006 et 2015 – Fig. 8).

Au total, dans les Carpates de la Courbure, les conditions hivernales (alternances de gel-dégel) et la sismicité diminuent la cohésion des matériaux (le nombre de mouvements de terrain a augmenté durant les deux années suivant le séisme de 1977 – D. BĂLTEANU, 2000). Le taux de soulèvement de 1,5 mm/an entretient l'énergie du relief, et les précipitations intenses ou les cumuls de pluie déclenchent les mouvements de terrain *sensu lato*. Parmi ceux-ci, il faut distinguer les mouvements qui nécessitent un apport d'eau instantané important mais dont l'activité est de courte durée, et ceux qui réagissent à un apport instantané, mais dont l'activité est à peu près constante, comme c'est le cas pour le torrent de boue de Chirleşti. Les suintements observés sur le cône d'épandage (voir Fig. 7), témoignent d'ailleurs d'une circulation



Photos 4 - Crue du 22 juin 2010. [clichés : Philippe LAHOUSSE]

Localisation des photos : voir figure 5.

d'eau dans la coulée, et leur permanence plaide en faveur d'une origine souterraine de cette eau. Une approche hydrologique permettrait d'établir le rôle respectif de l'aquifère et des précipitations dans l'alimentation en eau de la coulée (N. BOLLOT *et al.*, 2015), et sinon d'affiner un pronostic d'évolution, de concevoir des actions de stabilisation (A. PARRIAUX, 2010).

V - CONCLUSION : VULNÉRABILITÉ ET RISQUE

Dans la vallée du Buzău, la construction d'une voie ferrée dans les années 1930, puis du barrage de Siriu au début des années 1980, ont contribué, du fait du développement économique, à l'augmentation de la vulnérabilité. Les populations qui occupaient les zones de glissements anciens sur les versants où se pratiquait l'agriculture de subsistance au XIX^{ème} siècle se sont déplacées vers les basses terrasses, abandonnant les versants au pâturage (F. WEYMULLER, 1931 ; N. MUICĂ et D. TURNOCK, 2007). Le fond de vallée est ainsi devenu agricole et industriel (moulins et scieries) et l'habitat s'est considérablement densifié. Avec cette réorganisation de l'occupation des sols, la dangerosité des crues boueuses (fonction du site et des paramètres structurels) s'est elle-même accrue. En effet, la période de retour des glissements sur les versants – considérée comme imprévisible (C. MUICĂ et I. ZAVOIANU, 1996), nonobstant les essais de calcul de probabilité d'activation (D. BĂLTEANU *et al.*, 2010 ; M. CONSTANTIN *et al.*, 2011) – n'avait pas entravé la conquête de ces versants. Les glissements les plus anciens, dont la teneur en sels des sols est moindre, étaient même recherchés pour les cultures (N. MUICĂ et D. TURNOCK, 2007, 2008), et peut-être ce lessivage les rendait-il aussi plus stables. À l'inverse, les lobes de coulées qui atteignent de nos jours les basses terrasses peuvent avoir une activité continue aux effets perturbateurs. Parallèlement, le déboisement, depuis la fin du XIX^{ème} siècle, en favorisant l'érosion linéaire sur les versants, et, partant, l'apparition de coulées boueuses chenalisées, a augmenté le risque lié à cette forme particulière de torrentialité, que le reboisement, durant la période communiste, n'a pas diminué significativement. En effet, une fois inscrits dans le relief, les chenaux ne cessent de s'élargir, déstabilisant les versants, même reboisés. Dans ce contexte, la commune de Chirleşti, dont les hameaux s'étirent sur les basses terrasses du Buzău et transforment le fond de la vallée en "rue populeuse" (F. WEYMULLER, 1931) est, par endroits, très vulnérable. Ainsi, au débouché du torrent de boue éponyme, dix maisons ont disparu en 1953 (L. BADEA et G. POSEA, 1953), quatre en 1997 (M. CONSTANTIN, 2002), une en 2003, et cinq en 2010. Il faut souligner que la plupart des habitations menacées ou détruites depuis une quinzaine d'années ont été construites après 1953.

Finalement, la coulée atteint la route principale et le chemin qui longe le ruisseau Cățiașu (Fig. 3 et 9, voir Photo 1-d) en septembre 2010 (son volume est alors évalué à 1,6 million de m³) et un procès-verbal de catastrophe est publié le 16 novembre 2010. La circulation sur la route nationale n° 10 est maintenue au prix d'un coûteux entretien, et les résultats d'une expertise technique de février 2011, disponibles la même année (T. BURILESCU, 2011), conduisent à des travaux initiés en été 2012 et achevés en décembre 2013. À partir de la route, les dépôts ont été déblayés pour créer une zone tampon d'une largeur de 30 m, sur laquelle un soutènement a été construit afin de retenir la masse glissée (Fig. 9). Au pied de la coulée talutée, un remblai de terre et des poches de galets forment un premier contrefort, appuyé sur une série de 20 blocs de béton, en avant desquels est maintenu un espace de sécurité large de 15 m (voir Photo 1-e). À la surface du cône, un drain capte et évacue les eaux de surface et les eaux résurgentes, directement envoyées au delà de la route et de la voie ferrée. En outre, le chemin d'accès au hameau de Cățiașu a été décalé vers le nord. L'efficacité du dispositif n'a pas

encore été mise à l'épreuve depuis l'hiver 2013, malgré un cumul annuel de précipitations supérieur à la moyenne en 2014 (793 mm) ; mais de nouvelles vagues boueuses n'ont peut-être pas encore atteint le cône, à moins que le drainage artificiel de ce dernier ne s'avère momentanément efficace ?

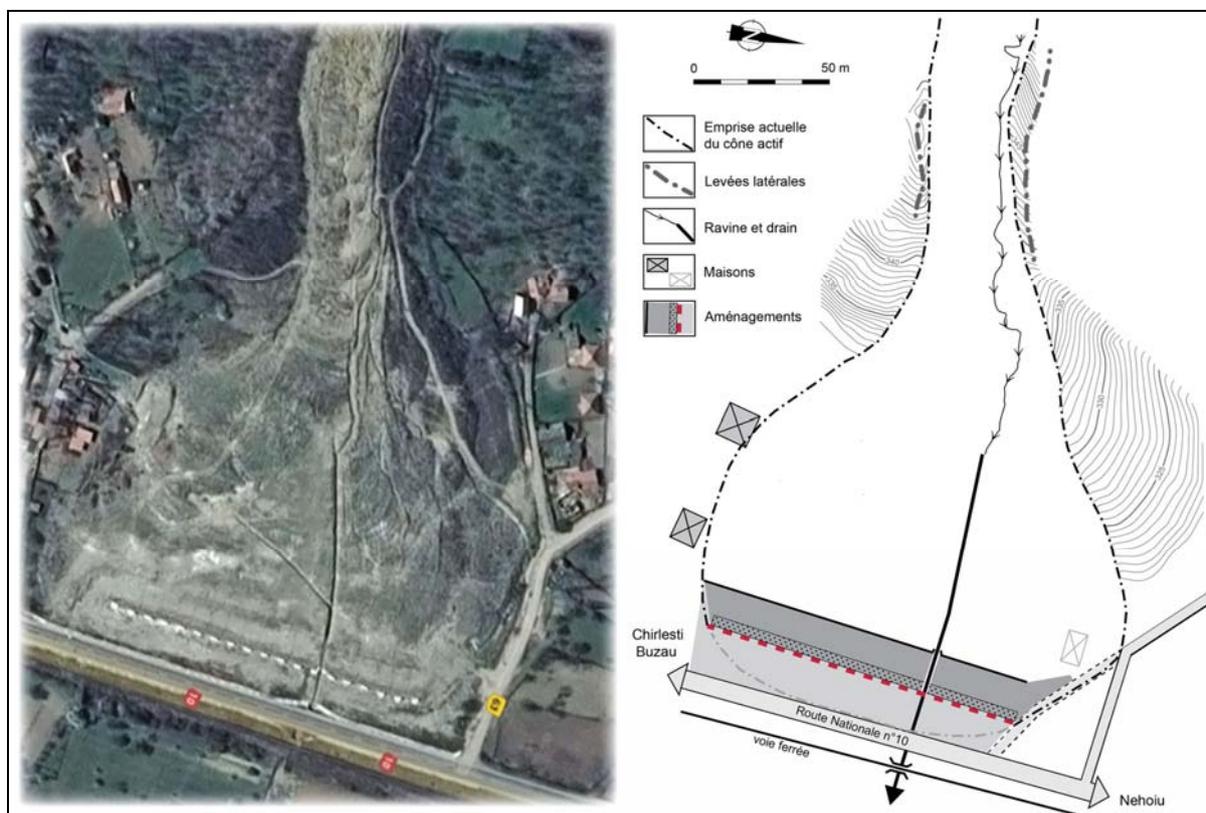


Figure 9 - Aménagement du cône (Image Google™ earth du 31 mars 2014).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BADEA L. et POSEA G. (1953) - Torentul noroios de la Chirleşti. *Natura*, vol. 6, p. 109-112.
- BADEA L. et BĂLTEANU D. (1982) - La mobilité tectonique et les processus géomorphologiques actuels des Subcarpathes de la Roumanie. *Cuadernos de Investigacion Geografica*, vol. 8, p. 19-36.
- BĂLTEANU D. (1976) - Two Case Studies of Mudflows in the Buzău Subcarpathians. *Geografiska Annaler*, vol. 58, n° 3, p. 165-171.
- BĂLTEANU D. (2000) – Present-day geomorphological processes and environmental change in Romanian Carpathians. In : *Geomorphology of the carpatho-balkan region*, D. BĂLTEANU, M. IELENICZ et N. POPESCU, Édité. Corint, Bucarest (Roumanie), p. 123-128.
- BĂLTEANU D. et MICU M. (2009) - Landslide investigation: from morphodynamic mapping to hazard assessment. A case study in the Romanian Subcarpathians: Muscel catchment. In : *Landslide processes, from geomorphologic mapping to dynamic modelling* (actes de colloque), J.P. MALET, A. REMAÎTRE et T. BOGAARD édit., Édité. CERG, Strasbourg, p. 235-241.

- BĂLTEANU D. et MICU M. (2012) - Morphodynamics of the Chirlești mudflow (Buzău mountains). *Revue Roumaine de Géographie*, vol. 56, n° 2, p. 117-125.
- BĂLTEANU D., CHENDEȘ V., SIMA M. et ENCIU P. (2010) - A country-wide spatial assessment of landslide susceptibility in Romania. *Geomorphology*, vol. 124, n° 3-4, p. 102-112.
- BERTRAN P. et COUSSOT P. (2004) - Coulées de débris. In : *Dépôts de pente continentaux, dynamique et faciès*, P. BERTRAN édit., Quatenaire, hors-série n° 1, p. 132-151.
- BIAGIONI F. et RAPETTI F. (2005) - Climatic features of the Muscel Valley (Buzău Subcarpathians, Romania) as from the registered data during 1961-2003. *Revista de Geomorfologie*, vol. 7, p. 107-119.
- BOLLOT N., DEVOS A. et PIERRE G. (2015) - Ressources en eau et glissements de terrain : exemple du bassin versant de la Semoigne (bassin de Paris, France). *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, n° 1, p. 7-20.
- BURILESCU T. (2011) - *Refacerea partii carosabile si consolidare versant, pe DN10 Km 61 + 850 La Chirlesti, Datorita Alunecarilor de Teren*. Bureau d'études VIA CONS, rapport technique, Bucarest (Roumanie), 14 p.
- CONSTANTIN M. (1999) - Some Considerations on Geomorphologic Hazards in Pănătău Area (Buzău Subcarpathians). *Transactions, Japanese Geomorphological Union*, vol. 20, p. 279-286.
- CONSTANTIN M. (2002) - Morphology and environmental impact of the Chirlești mud torrent. *Transactions, Japanese Geomorphological Union*, vol. 23, p. 449-455.
- CONSTANTIN M., JURCHESCU M.C., FUJISAWA K. et ISHIDA K. (2009) - The estimation of the slip plane at the Colți–Aluniș landslide (Buzău mountains, Romania) using ground surface displacements measurements. *Analele Universității din Oradea, Scia Geographic*, vol. 19, p. 27-32.
- CONSTANTIN M., TRANDAFIR A.C., JURCHESCU M.C. et CIUPITU D. (2010) - Morphology and environmental impact of the Colți-Aluniș landslide (Curvature Carpathians), Romania. *Environmental Earth Sciences*, vol. 59, n° 7, p. 1569-1578.
- CONSTANTIN M., BEDNARIK M., JURCHESCU M.C. et VLAICU M. (2011) - Landslide susceptibility assessment using the bivariate statistical analysis and the index of entropy in the Sibiciu Basin (Romania). *Environmental Earth Sciences*, vol. 63, n° 2, p. 397-406.
- COUSSOT P. (1993) - *Rhéologie des boues et laves torrentielles : études de dispersion et suspensions concentrées*. Édit. Cemagref, collection "Études Montagne", n° 5, Antony, 416 p.
- COUSSOT P. et PIAU J.M. (1993) - L'écoulement des boues. *La recherche*, vol. 24, n° 258, p. 1084-1091.
- DIKAU R., BRUNSDEN D., SCHROTT L. et IBSEN M.L. (1996) - *Landslide recognition : identification, movement and causes*. Édit. John WILEY and Sons, Chichester (Grande-Bretagne), XII + 251 p.
- DRAGOTĂ C., MICU M. et MICU D. (2008) - The relevance of pluvial regime for landslides genesis and evolution. Case-study : Muscel basin (Buzău Subcarpathians), Romania. In : *Present environment and sustainable development*, vol. 2, Édit. Université Alexandru Ioan Cuza, Iași (Roumanie), p. 242-257.
- DUMITRESCU I., SĂNDULESCU M. et BANDRABUR T. (1970) - *Carte géologique au*

- 1/200000, feuille de Covasna*. Édit. Comité d'État pour la Géologie, Institut Géologique, Bucarest (Roumanie), 79 p.
- HUNGR O., EVANS S.G., BORIS M. et HUTCHINSON J.N. (2001) - Review of classification of landslides of the flow type. *Environmental and Engineering Geoscience*, vol. 7, n° 3, p. 221-238.
- LAHOUSSE P., SALVADOR P.G. et FLEZ C. (2002) - Comportement hydrogéomorphologique d'un torrent alpin depuis 1995 : l'exemple du Ravin des Sables (Hautes-Alpes, France). In : *Geomorphology: from expert opinion to modelling*, D. DELAHAYE, F. LEVOY et O. MAQUAIRE édit., Édit. CERG, Strasbourg, p. 167-174.
- LAHOUSSE P., PIERRE G., ENE M., DIACONU D. et VIȘAN M. (2004) - The Chirlești mud-flow. General issues – Bend Carpathians. In : *Environmental change and sustainable development*, actes du Second Romanian-Turkish workshop of Geography (Bucarest, 2003), M. IELENICZ, M. POPESCU, D. BĂLTEANU et I. ATALAY édit., Édit. Université de Bucarest (Roumanie), p. 197-205.
- LEEVEER K.A., MATENCO L., BERTOTTI G., CLOETINGH S. et DRIJKONINGEN G.G. (2006) - Late orogenic vertical movements in the Carpathian Bend Zone – seismic constraints on the transition zone from orogen to foredeep. *Basin Research*, vol. 18, n° 4, p. 521-545.
- MAȚENCO L., BERTOTTI G., CLOETINGH S. et DINU C. (2003) - Subsidence analysis and tectonic evolution of the external Carpathian-Moesian Platform region during Neogene times. *Sedimentary Geology*, vol. 156, n° 1, p. 71-94.
- MICU M., BĂLTEANU D., MICU D. et ZAREA R. (2013) - Landslides in the Romanian Curvature Carpathians in 2010. In : *Geomorphological impacts of extreme weather, cases studies from central and eastern Europe*, D. LÓCZY édit., Édit. SPRINGER, Dordrecht (Pays-Bas), p. 251-264.
- MUICĂ C. et ZAVOIANU I. (1996) - The ecological consequences of privatisation in Romanian agriculture. *GeoJournal*, vol. 38, n° 2, p. 207-212.
- MUICĂ N. et TURNOCK D. (2007) - Historical geography of the Pătârlagele depression: landscape and settlement to 1945. *Review of historical geography and toponomastics*, vol. 2, n° 3-4, p. 85-122.
- MUICĂ N. et TURNOCK D. (2008) - A Toponomical Approach to the Agrarian History of the Pătârlagele Depression (Buzău Subcarpathians, România). *Human Geographies : Journal of Studies and Research in Human Geography*, vol. 2, n° 2, p. 28-49.
- PARRIAUX A. (2010) - Hydrogéologie et glissements de terrain. *Gas Wasser und Abwasser*, vol. 11, p. 978-985.
- RECKING A., RICHARD D. et DEGOUTTE G. (2013) - *Torrents et rivières de montagne. Dynamique et aménagement*. Édit. Quae, collection "Savoir Faire", Versailles, 336 p.
- SELBY M.J. (1993) - *Hillslope materials and processes*. Édit. Oxford University Press (Grande-Bretagne), 451 p.
- TANTAU I., REILLE M., BEAULIEU J.L. de, FARCAS S. et BREWER S. (2009) - Holocene vegetation history in Romanian Subcarpathians. *Quaternary Research*, vol. 72, n° 2, p. 164-173.
- VESPREMEANU-STROE A., MICU M. et CRUCERU N. (2006) - The 3D analysis of Valea Viei mudflow morphodynamic, Buzău Subcarpathians. *Revista de Geomorfologie*, vol. 8, p. 95-108.

WEYMULLER F. (1931) - Les collines subcarpatiques entre la Prahova et le Buzău. *Annales de Géographie*, vol. 228, p. 620-638.

ZAHARIA L. (1998) - Tendances dans l'évolution des transferts de matières en suspension, dans l'arc des Subcarpates, en relation avec les modifications du milieu. *Géomorphologie : relief, processus et environnement*, n° 4, p. 3-15.

ZIȚTARA T. (2000) - Geomorphological results of heavy rainfall on July 9, 1997 in the Beskid Wyspowy on the background of floods in the flysch Carpathians. In : *Geomorphology of the carpatho-balkan region*, D. BĂLTEANU, M. IELENICZ et N. POPESCU édit., *Geomorphology of the carpatho-balkan region*, Édit. Corint, Bucarest (Roumanie), p. 177-186.

Article reçu le 11 mars 2016.

Accepté après révision le 16 juin 2016.

Mis en ligne le 20 juin 2016.