CARTOGRAPHIE FONCTIONNELLE DES APPORTS SÉDIMENTAIRES DU BASSIN VERSANT TORRENTIEL

S. VEYRAT-CHARVILLON

Résumé : La méthode PREVENT de prédiction du volume des laves torrentielles repose sur la connaissance de la recharge sédimentaire du bassin versant torrentiel. A cet effet, nous proposons une nouvelle méthode de cartographie des apports sédimentaires du bassin-versant torrentiel, fondée sur une approche fonctionnelle des facteurs de la recharge : connectivité chenal-zones de production, état de la couverture végétale, propriétés lithologiques et géomorphologiques du bassin d'alimentation. Cette méthode cartographique a été appliquée au bassin torrentiel du Manival près de Grenoble (massif de la Chartreuse, Préalpes françaises du Nord).

RISCURI ŞI CATASTROFE
Vol. IV, Nr. 2 / 2005

Introduction

Nous avons été amenés à développer une cartographie fonctionnelle des apports sédimentaires du bassin versant torrentiel dans le cadre d'un travail de recherche plus large (Veyrat-Charvillon, 2003) qui a permis de mettre au point une méthode de prédiction du volume de lave torrentielle (PREVENT), indication essentielle pour les gestionnaires en charge des risques torrentiels.

La recharge sédimentaire joue un rôle prépondérant dans le déclenchement et le développement des laves torrentielles (Veyrat-Charvillon et al., 2001), en particulier les accumulations de matériaux dans le chenal. Bien que nous nous soyons focalisé sur le transport torrentiel à partir de ces accumulations dans le chenal, quels que soient les différents types de processus géomorphologiques qui ont permis cette recharge, la localisation des zones de production sédimentaire est tout de même essentielle.

Cette cartographie permet de localiser rapidement les sources de matériaux qui seront par la suite disponibles pour le fonctionnement torrentiel, élément important que ce soit pour élaborer différents scénarios de risques torrentiels dans un but de prédiction du risque, ou encore pour élaborer des bilans sédimentaires dans un but de compréhension du système torrentiel.

Nous présentons ici la détermination des dix classes qui composent cette cartographie, illustrée par l'exemple du torrent du Manival situé dans les Alpes du Nord françaises à une dizaine de kilomètres en amont de la ville de Grenoble.

I. Une cartographie fonctionnelle

L'objectif de cette cartographie est de spatialiser les zones de production sédimentaire de l'ensemble du bassin versant afin de connaître les zones de

recharge du chenal. Cette connexion entre versants et chenal est importante pour appréhender la dynamique sédimentaire du bassin. Dans cette optique la cartographie s'attache surtout à identifier les zones les plus productrices fournissant des matériaux au chenal, et non pas des taux de production ou alors une représentation exhaustive de tous les processus géomorphologiques.

Jusqu'à présent, les études qui caractérisent les apports sédimentaires sont soit focalisées sur un seul processus avec des mesures très précises (Allée, 1997 ; Francou, 1988 ; Rovera, 1997), soit très générales en utilisant une succession d'informations analytiques existantes, souvent à partir de cartes géologique, de végétation, des pentes, géomorphologique,… (Brochot et al., 2002 ; Dalla Fontana and Marchi, 1998 ; Dedkov and Moszherin, 1992 ; Delannoy and Rovera, 1996 ; Latulippe and Peiry, 1996 ; Rooseboom and Lotriet, 1992 ; Van Ghelue and Van Molle, 1990 ; White, 1989). Ces approches ne nous semblent pas adaptées à l'étude de la dynamique sédimentaire à l'échelle du bassin versant torrentiel, c'est pourquoi une cartographie fonctionnelle spécifique a été développée.

Lorsque des cartes détaillées concernant la végétation, la géologie ou la géomorphologie existent, elles peuvent servir de base à cette cartographie spécifique, mais cela n'est pas indispensable ; d'autant que ce type de carte effectuée à l'échelle du bassin versant est relativement rare : il est plus généralisé à des échelles régionales.

II. Facteurs-clefs de la recharge sédimentaire retenus pour la cartographie

La détermination des différentes classes dépend de plusieurs variables plus ou moins fortement liées entre elles et que nous avons sélectionnées en fonction de leur importance en terme d'influence sur l'érosion des bassins versants torrentiels. Une combinaison d'informations sur la connectivité au chenal, la couverture végétale, la lithologie, et certains processus géomorphologiques limite le nombre de classe à dix. Pour chacune d'entre elles, la clé de détermination de la **figure 1** que nous détaillons ci-dessous indique le degré d'intensité relative de la production sédimentaire.

La première entrée de cette clé de détermination concerne **l'état de connexion** des zones de production des versants au chenal. Très logiquement, si ces zones sont déconnectées, les matériaux seront temporairement stockés dans les versants et la recharge du chenal sera quasiment nulle. Bien que ces matériaux puissent être repris à une échelle de temps géologique, pour l'échelle temporelle beaucoup plus courte qui nous intéresse dans l'estimation et la gestion des risques torrentiels, on peut considérer qu'ils ne sont pas disponibles pour le torrent.

RISCURI ŞI CATASTROFE
Vol. IV, Nr. 2 / 2005

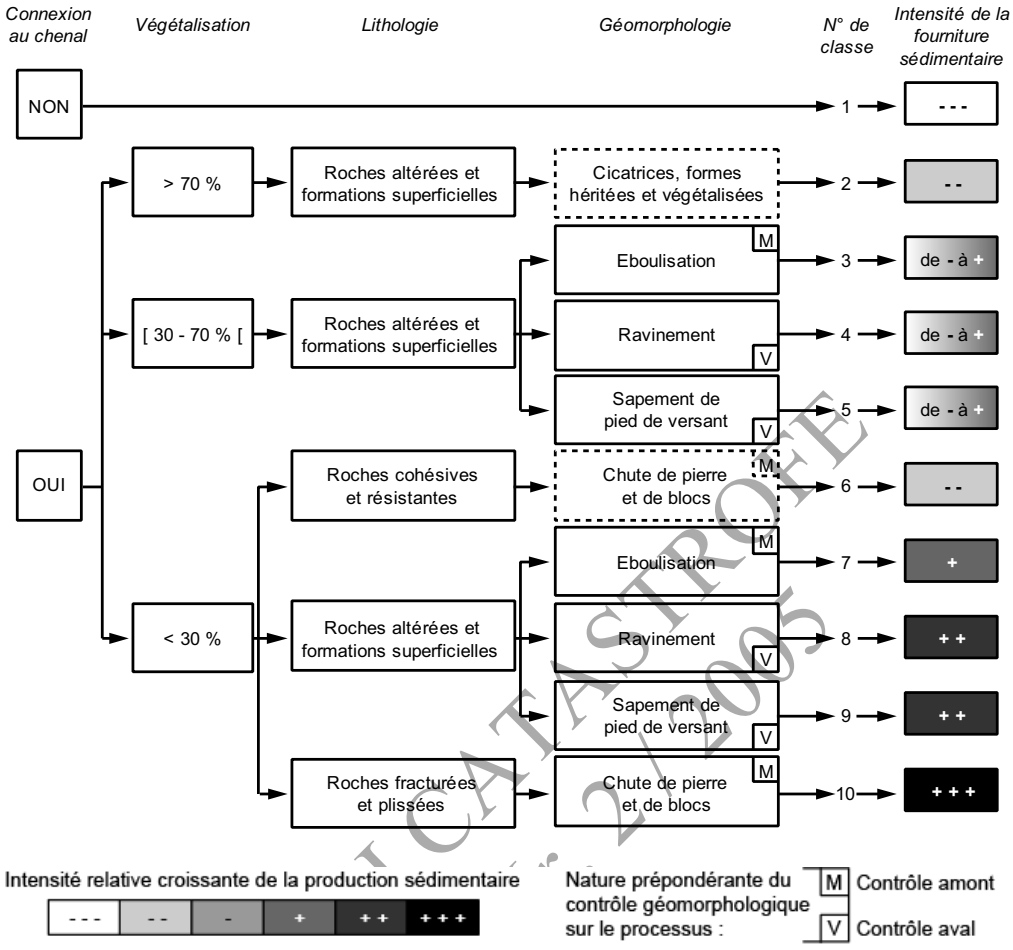


Figure 1. Clé de détermination de classes pour une cartographie fonctionnelle des zones de production sédimentaire d'un bassin versant torrentiel (en pointillés, processus géomorphologiques peu visibles)

Il est actuellement bien établi que **la végétation** joue un rôle important vis-à-vis de l'érosion. Bien qu'elle puisse accentuer l'action érosive de certains processus géomorphologiques (lorsqu'une forêt entraîne une surcharge sur un glissement de terrain par exemple), la couverture végétale a généralement tendance à limiter l'érosion. Rey et al. (2004) ont fait une synthèse bibliographique sur l'érosion hydrologique de surface très riche d'enseignements. Outre les connaissances sur les mécanismes d'action de la végétation vis-à-vis des différents types de processus érosifs et les résultats d'investigations portant sur l'efficacité de différentes formations végétales, ils font un point sur les résultats des recherches

RISCURI CATASTROFE Vol. IV, nr. 2/2005

concernant l'importance du taux de couverture végétale. Des études menées à l'échelle du bassin versant ont montré qu'en général, l'érosion diminue quand la couverture végétale augmente (Battany and Grismer, 2000; Kostadinov et al., 1996; Olyphant and Harper, 1995; Stott, 1997). Il en va de même sur des surfaces plus réduites (Carroll et al., 2000). La densité de la couverture végétale permet en général de déterminer s'il y a ruissellement ou pas : jusqu'à 70 % de couverture végétale, l'eau ruisselle en grande partie ; au-delà, l'eau percole et ne ruisselle plus, sauf s'il y a saturation des sols (Rey et al., 2004). En dessous de 70 %, la répartition de la végétation joue un rôle important et l'intensité érosive peut-être très variable. Rogers et Schumm (1991) ont observé une production sédimentaire de versants augmentant rapidement lorsque la couverture végétale variait de 43 à 15 %. 15 % apparaissaient alors comme une valeur seuil minimale pour que la végétation joue un rôle significatif contre l'érosion. A l'échelle de ravines marneuses, Rey (2003) a montré qu'il était possible d'obtenir une production sédimentaire nulle à l'exutoire d'une ravine avec seulement 33 % de couverture végétale. Une valeur de 40 % a été avancée par Mc Ivor et al. (1995) comme couverture végétale minimale à maintenir ou installer sur des terrains érodables pour une maîtrise significative de l'érosion. Finalement, au vu de la littérature, nous avons défini trois classes limitées par des taux de couverture végétale de 30 et 70 %. La nature des formations végétales n'a pas été prise en compte, sachant que même une prairie herbeuse peut avoir des effets non négligeables pour limiter l'érosion, en particulier lorsque celle-ci est diffuse (Derouiche A., 1997 ; Hill and Peart, 1998 ; White and Loftin, 2000).

La nature de **la lithologie** a permis de discriminer les classes ayant un plus faible taux de couverture végétale. Marie (1992) avait proposé une classification basée sur la lithologie et la géologie pour déterminer l'occurrence possible de laves torrentielles, dont nous nous sommes inspirés. Ce type de classification pourra être retrouvé dans certains modèles statistiques d'estimation des volumes de lave torrentielle (Brochot, 1998 ; D'Agostino et al., 1996). Nous avons retenu trois classes liées à l'état lithologique : les formations rocheuses cohésives et résistantes, les formations de roches altérées ou de formations superficielles, les formations rocheuses fracturées et plissées. Cette dernière classe regroupe les zones les plus productrices composées de dérochoirs.

Enfin, suite à notre expérience et nos observations de terrain, **quatre processus géomorphologiques** nous ont semblé avoir une importance prédominante sur l'activité érosive permettant la recharge sédimentaire du chenal torrentiel : les chutes de pierres et de blocs provenant de dérochoirs ou d'escarpements rocheux sub-verticaux, l'éboulisation généralement matérialisée par des tableriers d'éboulis, le ravinement marqué par un réseau de ravins et ravines, les sapements de pied de versant qui forment de larges cicatrices d'érosion à proximité des talwegs. Nous avons également indiqué si le contrôle des processus provenait principalement de l'amont ou de l'aval. Comme l'a montré Peiry (1990) dans une typologie fonctionnelle des torrents de l'Arve, ce contrôle a une

RISCURI ŞI CATASTROFE Vol. V, Nr. 2 / 2007

importance dans l'origine des apports sédimentaires et la fréquence des transports solides. Les processus dominés par un contrôle amont sont indépendant de l'évolution du chenal, comme les chutes de pierres ou de blocs, alors que le contrôle aval, comme les sapement de pied de versants deviennent plus productifs lors de l'enfoncement du talweg. Dans le torrent du Manival, les ouvrages de correction torrentielle stabilisant le profil en long du chenal rendent les processus du second groupe (contrôle aval) moins actifs.

Il est important de signaler qu'au delà de ces dix classes, **des mouvements de masse** de forts volumes peuvent survenir et être appréhendés dans des scénarios extrêmes. Ils sont au nombre de trois : les écroulements, les mouvements de masse rapides lors de sapements de pied de versant, les grands glissements de terrain.

Par exemple, l'observation des photographies aériennes du torrent du Manival montre qu'un de ces écroulements a eu lieu entre 1970 et 1975, en rive gauche au-dessus de l'éboulis situé le plus en aval. Les matériaux se sont déposés dans le chenal, ensevelissant deux barrages de correction torrentielle. La taille importante de certains blocs a légèrement modifié le cours du chenal qui contourne désormais ce dépôt par la droite. Il s'est ensuivi une érosion plus importante de la rive droite (classe n°10), et la nécessité de déplacer ou surélever les cuvettes des barrages de correction torrentielle n°22 et n°23 (**figure 2**).

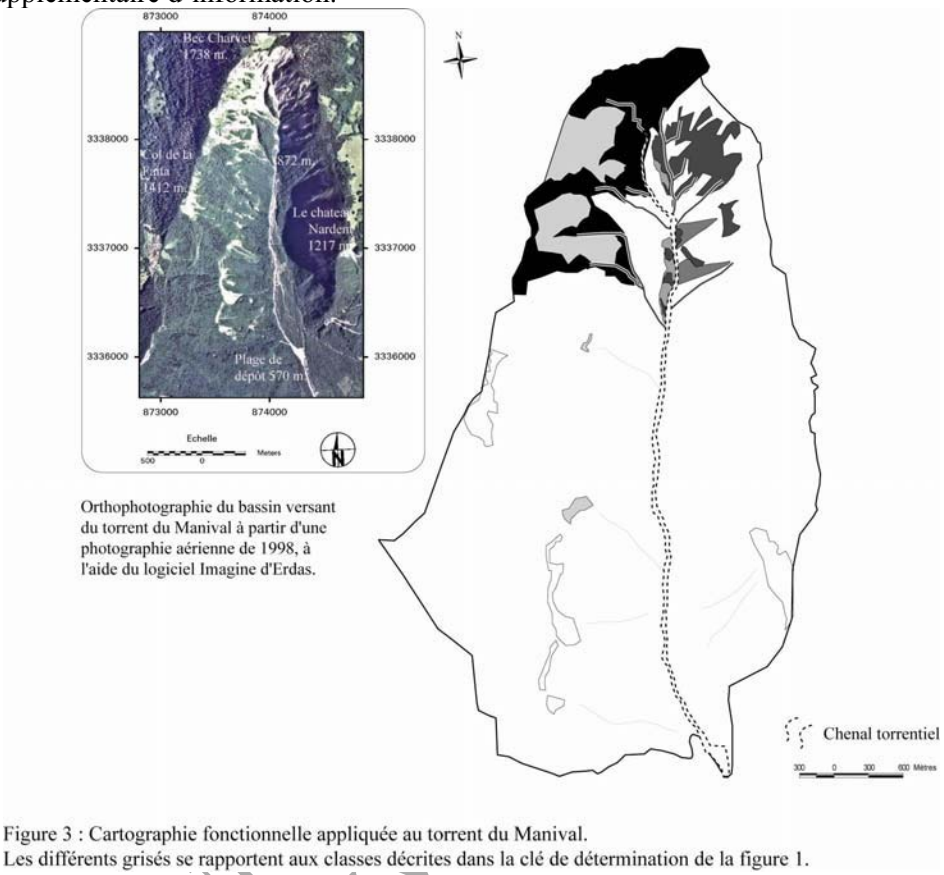
Figure 2. Seuil de correction torrentielle n°22 dans le chenal du Manival (vue vers l'amont). – Photographie : S. Veyrat-Charvillon, 2001. Au premier plan les modifications du seuil sont bien visibles : rehaussement et déplacement de la cuvette centrale. En arrière plan, à l'amont du seuil, on peut encore voir de gros blocs provenant de l'écroulement rocheux du début des années 1970 (rive gauche) ayant entraîné une érosion accrue en rive droite (classe n°9 de la figure 1).

Outre ces trois types de mouvements de masse supplémentaires, il est également possible de prendre en compte dans l'élaboration de scénarios extrêmes, la rupture éventuelle d'une série de barrage de correction torrentielle.

III. L'exemple du torrent du Manival

C'est ainsi qu'**une carte du bassin versant du Manival** a pu être créée de manière relativement simple et rapide à partir d'observations de terrain et de

quelques mesures sur photographies aériennes, afin d'appréhender les principales zones de recharge sédimentaire du torrent (**figure 3**). Les documents bibliographiques existants peuvent éventuellement constituer une source supplémentaire d'information.



Orthophotographie du bassin versant du torrent du Manival à partir d'une photographie aérienne de 1998, à l'aide du logiciel Imagine d'Erdas.

Figure 3 : Cartographie fonctionnelle appliquée au torrent du Manival.
Les différents grisés se rapportent aux classes décrites dans la clé de détermination de la figure 1.

Les zones de production sédimentaire les plus intenses se situent en amont du bassin de réception principalement au niveau du dérochoir de l'escarpement sommital, composé de couches alternées à composantes calcaires et marneuses dont l'ensemble est fracturé et fortement plissé.

Pour aller plus loin dans la représentation fonctionnelle des zones de recharge, il est possible de faire une carte anamorphosée représentant, non pas les surfaces projetées sur un plan horizontal comme les cartographies classiques, mais les surfaces réelles en fonction de la pente. L'intérêt de la carte anamorphosée est bien visible sur le bassin versant du Manival car la zone principale d'apport de matériaux, composée d'escarpements rocheux subverticaux, couvre alors une plus

grande surface, ce qui représente bien mieux la réalité (Veyrat-Charvillon and Memier, (à paraître, 2005)).

BIBLIOGRAPHIE

1. Allée, P., (1997), *Rythmes saisonniers et annuel du ravinement sur les hautes terres granitiques cévenoles. L'exemple de la ravine de l'Aubaret (Mont Lozère, France)*, Les bassins versants expérimentaux de Draix, laboratoire d'étude de l'érosion en montagne., Digne, pp. 119-128.
2. Battany, M.C. and Grismer, M.E. (2000), *Rainfall runoff and erosion in Napa Valley vineyards: effects of slope, cover and surface roughness*, Hydrological Processes, 14: 1289-1304.
3. Brochot, S., (1998), *Etude hydraulique de l'Arc de Maurienne de Modane à l'Isère. Estimation des apports sédimentaires des torrents affluents*, Cémagref, Grenoble.
4. Brochot, S., Marchi, L. and Lang, M. (2002), *L'estimation des volumes des laves torrentielles: méthodes disponibles et application au torrent du Poucet (Savoie)*, Bulletin de Géologie de l'Ingénieur et de l'Environnement, soumis.
5. Carroll, C., Merton, L. and Burger, P. (2000), *Impact of vegetative cover and slope on runoff, erosion, and water quality for field plots on a range of soil and spoil materials on central Queensland coal mines*, Australian Journal of Soil Research, 38: 313-327.
6. D'Agostino, V., Cerato, M. and Coali, R.. (1996), *Il transporto solido di eventi estremi nei torrenti del Trentino Orientale*, Int. Symp. Interpaevent, pp. 377-386.
7. Dalla Fontana, G. and Marchi, L. (1998), *GIS indicators for sediment sources study in Alpine basins*, IAHS, Publ. n°248: 553-560.
8. Dedkov, A.P. and Moszherin, V.I. (1992), *Erosion and sediment yield in mountain regions of the world, Erosion, Debris Flows and Environment in Mountain Regions*. IAHS, Proceeding of the Chengdu Symposium, pp. 29-36.
9. Delannoy, J.-J. and Rovera, G. (1996), *L'érosion dans les Alpes occidentales*: *contribution à un bilan des mesures et des méthodes*, Revue de Géographie Alpine(n°2): 87-101.
10. Derouiche A., B.-A.J., Cartagena D. (1997), *Effet du couvert végétal sur le comportement hydrique et le transport solide dans une pinède à sous-bois arbustif et herbacé*, Bulletin Réseau Erosion, 17: 24-36.
11. Francou, B. (1988), *L'éboulisation en haute montagne (Andes et Alpes)*, Caen, 696 pp.
12. Hill, R.D. and Peart, M.R. (1998), *Land use, runoff, erosion and their control*: *a review for southern China*, Hydrological Processes, 12: 2029-2042.
13. Kostadinov, S., Markovic, S., Zlatic, M., Stojkov, N. and Milosevic-sickinger, S. (1996), *Influence de la couverture végétale sur la répartition et l'intensité de l'érosion hydrique dans le bassin versant. Effect of vegetative cover on the distribution and intensity of water erosion in the watershed*, Internationales Symposium Interpraevent. Tagungspublikation, Garmisch-Partenkirchen, pp. 225-234.
14. Latulippe, C. and Peiry, J.-L. (1996), *Essai de hiérarchisation des zones de production de matière en suspension dans le bassin versant d'un grand cours d'eau: l'Isère en amont de Grenoble*, Revue de Géographie Alpine, 1996 n°2: 29-44.
15. Marie, R. (1992), *Typologie des situations de danger*.

RISCURI ŞI CATASTROFE
Vol. IV, Nr. 2 / 2005

16. McIvor, J.G., Williams, J. and Gardener, C.J. (1995), *Pasture management influences runoff and soil movement in the semi-arids tropics*, Australian Journal of Experimental Agriculture, 35: 55-65.
17. Olyphant, G.A. and Harper, D. (1995), *Effects of direct revegetation on the hydrology, erosion and sediment yield of an abandoned deposit of coal-mine refuse*, Geomorphology, 11: 261-272.
18. 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, LXXVIII - 1990 - 1-2-3: 26-58.
19. Rey, F. (2003), *Influence of vegetation distribution on sediment yield in forested marly gullies*, Catena, 50: 549-562.
20. Rey, F., Ballais, J.-L., Marre, A. and Rovéra, G. (2004), *Rôle de la végétation dans la protection contre l'érosion hydrique de surface*, Comptes Rendus Géoscience, 336(11): 991-998.
21. Rogers, R.D. and Schumm, S.A. (1991), *The effect of sparse vegetative cover on erosion and sediment yield,* Journal of Hydrology, 123: 19-24.
22. Rooseboom, A. and Lotriet, H.H. (1992), *The new sediment yield map for the southern Africa, Erosion and Sediment Transport Monitoring Programmes in River Basins*, IAHS, Proceedings of the Oslo Symposium, pp. 527-538.
23. Rovera, G. (1997), *L'éboulisation des corniches de calcaire urgonien dans le massif de la Grande Chartreuse (Alpes du Nord)*, Environnements périglaciaires, N°4: 13-27.
24. Stott, T. (1997), *Forestry effects on bedload yields in mountain streams*, Applied Geography, 17(1): 55-78.
25. Van Ghelue, P. and Van Molle, M. (1990), *Geomorphological mapping as tool in the delineation of erosion risk zones in the Rio Guadalhorce catchment (Spain)*, Soil Technology, Vol. 3: 327-342.
26. Veyrat-Charvillon, S. (2003), *Prédiction globale de la production de sédiments des bassins versants torrentiels: Bilans sédimentaires et application d'une méthode d'estimation des volumes de laves torrentielles. Prediction of sediment yield delivered by torrential catchments: Sediment budgets and use of a method to predict debris flow volume*, Pôle Grenoblois sur les Risques Naturels, Grenoble.
27. Veyrat-Charvillon, S., Brochot, S. and Peiry, J.-L. (2001), *Prédiction globale de la production de sédiments des bassins versants torrentiels: Dynamique de la fourniture des matériaux au torrent du Manival (Isère). Prediction of sediment yield delivered by torrential catchments: Dynamics of materials supply at the Manival torrent (Isère)*, Pôle Grenoblois sur les Risques Naturels, Grenoble.
28. Veyrat-Charvillon, S. and Memier, M., (à paraître, 2005), *The use of archive data by stereophotogrammetry with a topographic methodology of debris-flow torrent measures: calculation of channel sediment states and partial sediment budget on Manival torrent (Isère, France)*, Earth Surface Processes and Landforms.
29. White, C.S. and Loftin, S.R., (2000), *Response of 2 semiarid grasslands to cool-season prescribed fire*, Journal of Range Management, 53: 52-61.
30. White, S.M. (1989), *Sediment yield assessment using a geographical information system*, fourth International Symposium on River sedimentation, Beijing, China, pp. 239-245.

RISCURI ŞI CATASTROFE
Vol. IV, Nr. 2 / 2005