
Journal de l'OSGeo

Le journal de la Fondation Open Source Geospatial

Volume 3 / Décembre 2007



2007 FREE AND OPEN SOURCE SOFTWARE
FOR GEOSPATIAL (FOS4G) CONFERENCE
VICTORIA CANADA  SEPTEMBER 24 TO 27, 2007

Compte rendu du FOS4G 2007

Intégration & Développement

- Portable GIS : SIG sur une clé USB
- Génération Automatique d'Applications SIG / Base de données sur Internet
- db4o2D - Extension de Base de données Orientée Objet pour les types géospatiaux 2D
- Google Summer of Code pour la géomatique

Intérêt thématique

- Approche générique pour la gestion de standards de métadonnées
- Vers des services web dédiés à la cartographie thématique
- Interopérabilité pour les données géospatiales 3D
- Un Service Web orienté modèle pour une interopérabilité sémantique améliorée
- Spatial-Yap : un système de base de données spatialement déductif

Études de cas

- Le Projet DIVERT : Développement de Télématiques Inter-Véhicules Fiables
 - GRASS et la Modélisation des Risques Naturels
 - Une Base de Données Spatiales pour l'Intégration des Données du Projet de Gestion des Ressources Naturelles du Rondonia
 - GeoSIPAM : Logiciel libre et Open Source appliqué à la protection de l'Amazonie brésilienne
 - Le Système de Suivi de la Déforestation Amazonienne
-

GRASS et la Modélisation des Risques Naturels

Une Approche Intégrée pour la Simulation des Flux de Débris — Premiers Résultats d'une Application dans les Andes Centrales

Martin Mergili et Wolfgang Fellin, traduit par Marie Silvestre

Contexte

Les flux de débris sont des mouvements rapides et massif d'eau et de débris, représentant un risque considérable lorsqu'ils interfèrent avec la population, les bâtiments ou les infrastructures. Ils sont souvent déclenchés par des pluies fortes ou prolongées ou par une fonte des neiges rapide. La mobilisation de matériaux se produit à cause de glissements de terrain provoqués par des mouvements de rotation ou de translation sur des pentes saturées ou présentant un surplomb ou à cause de détachements dus à l'érosion de surface ou au flux de débris lui-même. Différents modèles existent pour simuler les processus inclus dans les flux de débris, par exemple pour le détachement (*r.sim.sediment* dans l'environnement SIG GRASS), pour l'hydrologie du sol et la stabilité de la pente (14) ou pour les zones de dépôt des flux de débris (9; 7). Des approches plus intégrées basées sur les SIG, telles qu'ont tenté de le faire par exemple (1) ou (11), sont rares. De telles approches seraient bénéfiques pour une évaluation rapide des seuils hydrologiques de risques potentiels de flux de débris au vu des risques encourus. cet article décrit et débat du développement d'un tel modèle sous la forme d'un module raster pour GRASS. Le modèle est conçu pour de petits bassins versants (de quelques kilomètres carrés) et il est actuellement testé sur sept zones d'études le long du couloir routier international allant de Mendoza (à l'ouest de l'Argentine) au centre du Chili, croisant la partie la plus élevée des Andes (figure 1). Les résultats préliminaires pour la zone d'étude *Guido A* sont présentés.

Modèle

Implementation et conception du modèle

Le modèle de simulation est implémenté dans un module raster de GRASS appelé *r.debrisflow* et

basé sur le langage de programmation C. La gestion des données est facilitée par l'utilisation de scripts shell. Le modèle est actuellement à une étape intermédiaire de développement, des améliorations majeures aux niveaux technique et méthodique sont attendues très prochainement. De plus, une interface utilisateur pour la gestion des données devrait être créée. Pour le moment la dernière version de développement est téléchargeable sur le site internet du premier auteur. *r.debrisflow* est un environnement de travail constitué de nombreux sous-modules décrits plus en détail ci-après, le design général du modèle est illustré sur la figure 2. Les sous-modules peuvent être combinés de deux manières différentes, dépendant de la disponibilité des informations en entrée :

Mode de simulation 1 : La modélisation complète de l'hydrologie, de la stabilité, du détachement et du dépôt est effectuée pour un nombre défini de pas de temps au cours d'un événement pluvieux ou de fonte des neiges, nécessitant un jeu de données complet en entrée dont des données météorologiques, un modèle d'élévation, des paramètres mécaniques et hydrologiques concernant le sol et les caractéristiques de l'hydrologie de surface (dont l'occupation du sol).

Mode de simulation 2 : Les zones d'initiation du flux de débris sont définies manuellement (par exemple par de la cartographie de terrain ou par orthophotos) et seul le dépôt est calculé. L'avantage de ce mode est qu'il requiert nettement moins de données en entrée que l'autre mais, d'un autre côté, il ne permet pas de prédire des événements futurs.



FIG. 1: Zones d'études. Les résultats préliminaires pour Guido A sont présentés.

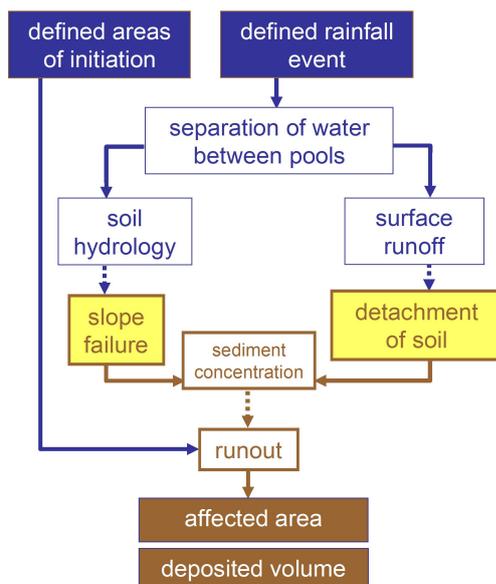


FIG. 2: Design général du modèle.

Données d'entrée sur l'eau

La pluviométrie est lue dans le fichier d'entrée et ajoutée au système en augmentant la valeur de la table de l'eau de surface de chaque cellule, valeur à laquelle on soustrait l'interception de la pluie. S'il y a une couverture neigeuse, la fonte de la neige est calculée pour chaque cellule en fonction d'un facteur de température journalier défini par l'utilisateur et ajoutée à la table de l'eau de surface.

Hydrologie du sol et stabilité du terrain

Pour ce sous-module, une approche tri-dimensionnelle raster est utilisée, allant jusqu'à la roche mère (si elle est connue) ou jusqu'à une profondeur de sol définie par l'utilisateur. Le sol est considéré comme homogène sur toute sa hauteur concernant ses propriétés physiques, hydrologiques et mécaniques. Le flux vertical est calculé grâce à la loi de Darcy. Si le contenu en eau d'une cellule dépasse 90 % du contenu maximum, le flux d'eau souterraine est supposé parallèle à la pente et on teste si la cellule est stable ou pas en utilisant une approche de stabilité infinie du terrain (14). Pour chaque pixel, le bas de la cellule la plus profonde avec un facteur de sécurité inférieur à 1 est considéré comme un plan de faiblesse (figure 3). Il a été mis en avant que cette approche constitue une approximation grossière de la réalité avec l'hypothèse de plus mauvais cas : le rôle stabilisant du mouvement vertical de l'eau est négligé et le rôle déstabilisant de la pente supposée parallèle est complètement intégré dans les cas de saturation. En réalité, ces deux composantes sont combinées, créant des conditions plus stables que dans le modèle.

Ruissellement de surface et détachement

Toute l'eau qui ne s'est pas infiltrée dans le sol est ajoutée à la table de l'eau de surface de la cellule correspondante. La vitesse du flux d'une cellule à une autre est calculée en utilisant l'équation de Manning. Si aucun canal d'écoulement vers une cellule en aval

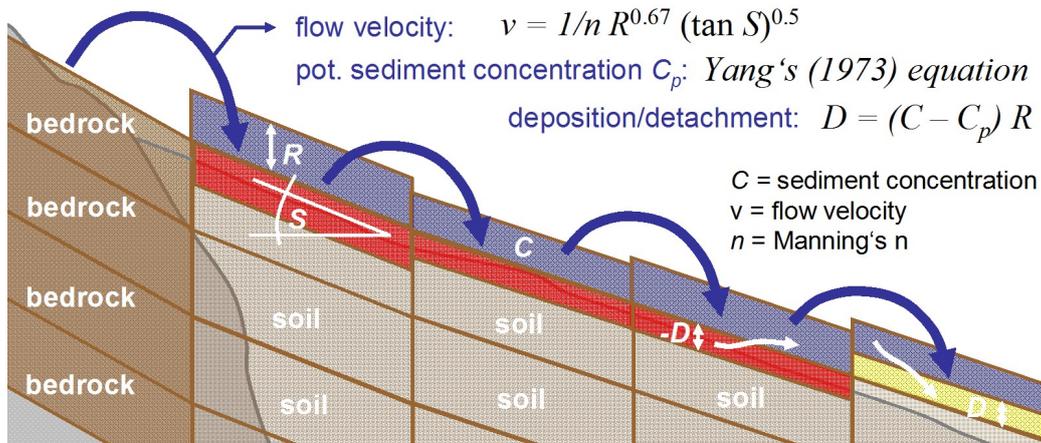


FIG. 4: Ruissellement de surface et modèle de détachement.

posés. Cette approche a été intégrée au modèle de la manière suivante :

1. L'approche de Vandre a été appliquée avec des paramètres définis pas l'utilisateur pour estimer les volumes érodés et déposés.
2. Les approches de Corominas et al. et de Rickenmann ont été appliquées indépendamment puis combinées en un indice.

Le flux de débris est dirigé en aval de manière séparée pour chaque cellule instable, suivant un chemin aléatoire (3), pondéré par l'angle de pente et l'existence d'un canal défini, jusqu'à ce que le critère d'arrêt pour les trois approches soit rempli. Bien que chaque cellule soit traitée indépendamment, le volume mobilisé requis pour la distance de dépôt est calculé à chaque passe d'initiation du flux de débris. Dans la zone de raclage, on considère que la colonne de sol saturé est entièrement retirée, sans jamais dépasser la profondeur d'initiation. On considère que les volumes initiaux et érodés se distribuent dans la zone de dépôt en prenant la forme d'un cône croissant par l'avant.

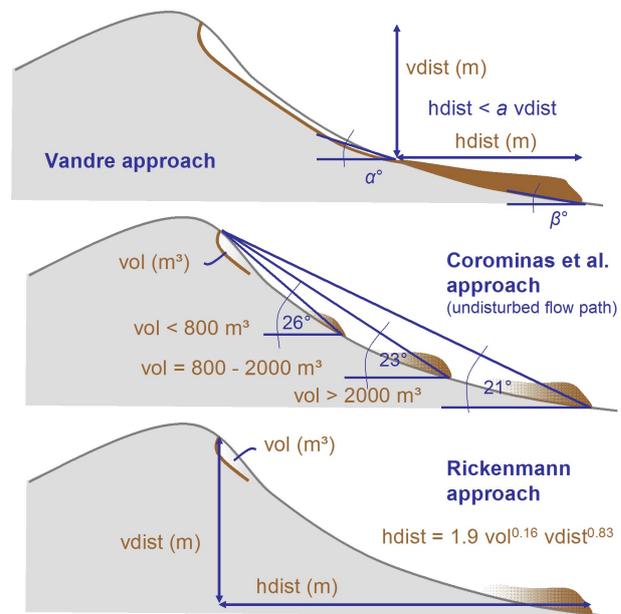


FIG. 5: Modèles de dépôt.

Premiers résultats

Le modèle a été testé sur la zone d'étude de Guido A (voir figure 1). Les sols de ce bassin, principalement constitués de sols granitiques résiduels, sont relativement homogènes. Il a donc été décidé d'utiliser un seul jeu de paramètres pour les sols sur la zone d'étude :

texture	ρ_d kg/m³	c_s N/m²	φ deg.	Θ_s	k_f cm/h
Sable	1850	0	40.0	0.43	29.7

ρ_d est la densité apparente sèche du sol, c_s est la cohésion du sol, φ représente l'angle de friction interne, Θ_s est la contenance maximale (saturation) en eau et k_f est la conductivité hydraulique saturée.

Les figures 6 et 7 illustrent les zones géographiques de l'initiation du flux de débris dans la zone d'étude Guido A et les types de changements de surface dus à un flux de débris, basés sur la cartographie des zones d'initiation et sur les types d'érosion et de dépôt calculés (mode de simulation 2). La ligne blanche qui coupe la partie droite des cartes correspond à la route internationale qui coïncide approximativement à la partie la plus en aval des dépôts de flux de débris observés. Les figures 8 à 11 montrent quelques résultats de simulation pour un événement pluvieux hypothétique de 100 mm, ce qui correspond à la valeur journalière maximale observée près de la station météorologique locale, consistant donc l'hypothèse du pire scénario (mode de simulation 1). Toutes les cartes montrent des schémas possibles en comparaison des observations de terrain. Les zones d'initiation et de dépôt du flux de débris sont correctement localisées mais sont surestimées par rapport aux observations de terrain (ce qui n'est pas surprenant étant donnée l'hypothèse prise du pire scénario). Les volumes calculés de sédiments déposés sur la route internationale entrent dans la même gamme de valeur que ceux reportés par les autorités responsables de cette route. En simulant l'impact de plus faibles événements pluvieux, les résultats du modèle correspondent bien aux conclusions de (5), à savoir que les flux de débris dans la Vallée Mendoza se produisent lorsque la pluviométrie journalière dépasse 6,6 à 12,9 mm.

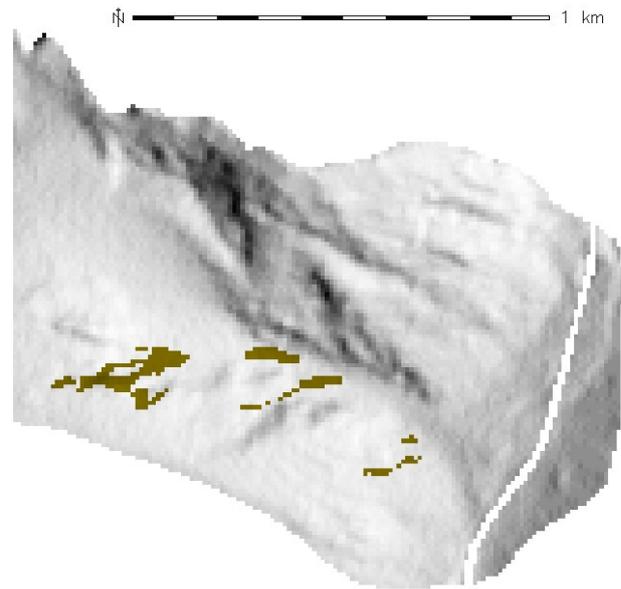


FIG. 6: Cartographie des zones d'initiation clairement identifiées de flux de débris précédents. La profondeur de l'initiation est estimée à 0,75 m selon les observations de terrain.

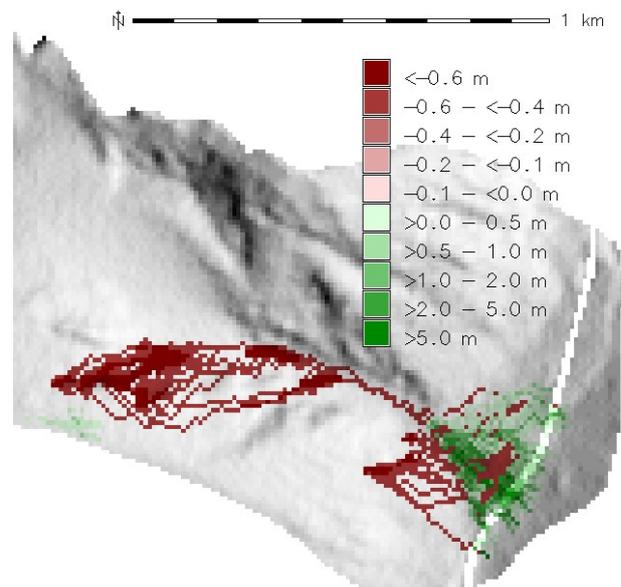


FIG. 7: Simulation des changements de hauteurs de terrain dus à un flux de débris, utilisant les zones d'initiation cartographiées.

Discussion et Perspectives

Bien que les résultats préliminaires semblent plausibles pour Guido A, le modèle de simulation souffre encore de nombreux défauts sur lesquels il

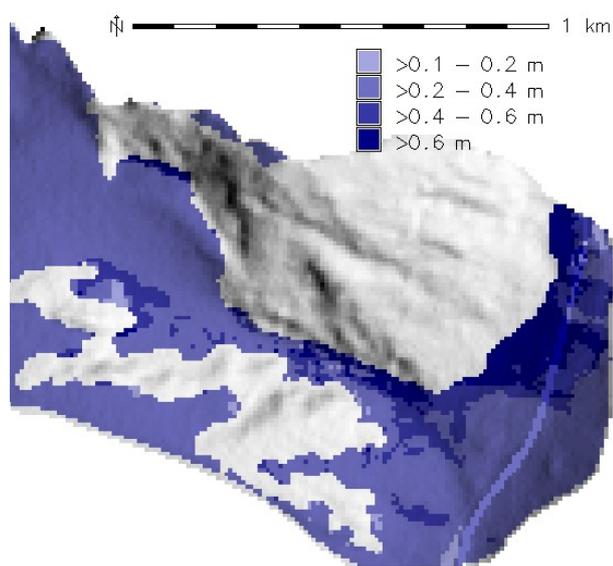


FIG. 8: Profondeur maximale de saturation calculée pour un événement pluvieux de 100 mm.

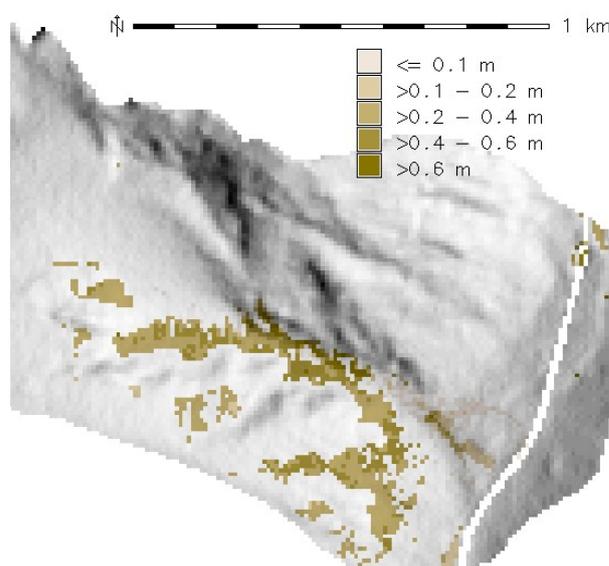


FIG. 9: Zones simulées d'initiation potentielle de flux de débris calculées pour un événement pluvieux de 100 mm.

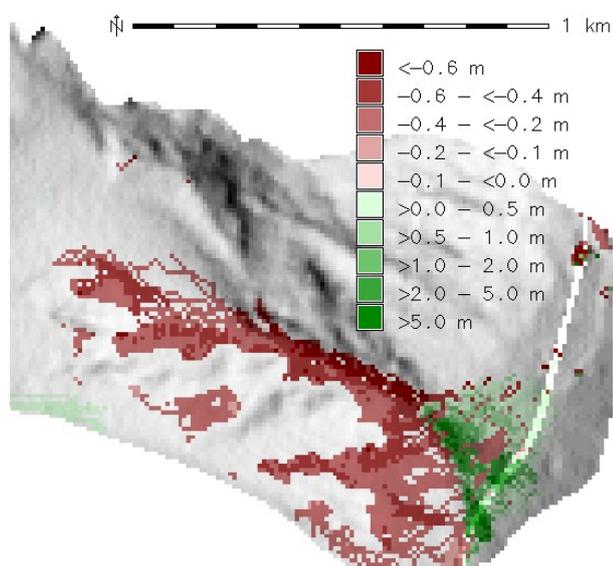


FIG. 10: Simulation des changements de hauteurs de terrain dus à un flux de débris déclenché par un événement pluvieux de 100 mm.

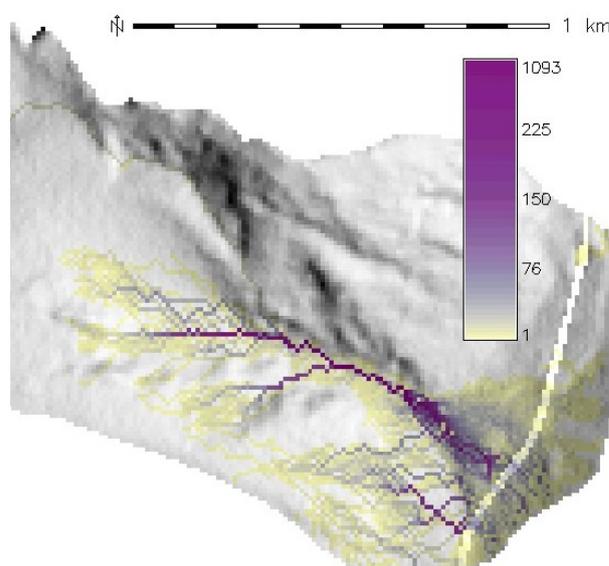


FIG. 11: Indice de flux de débris pour un événement pluvieux de 100 mm, dénombrant le nombre de cellules dont les matériaux mobilisés atteignent le pixel.

faut retravailler.

1. L'infiltration de l'eau dans le sol n'est pas encore modélisée d'une manière satisfaisante, il faudra donc affiner cette approche (modèle Green-Ampt). Les flux d'eau souterraine parallèles à la pente vont être intégrés, également pour permettre une meilleure approximation de l'hydrologie réelle des sols.
2. Le modèle de stabilité de la pente tel qu'il est appliqué pour le moment n'est valide que pour des pentes droites, infinies et sans cohésion. Pour de petites ruptures, cette hypothèse est suffisamment proche de la réalité mais pour des ruptures de pente rotationnelles plus marquées, elle n'est pas satisfaisante, la courbure de la pente doit être prise en compte. (12) et (13) pourraient servir d'exemples pour une telle approche.
3. Les approches empiriques pour le dépôt de flux de débris doivent être complétées par l'intégration d'un modèle physique de dépôt selon (9) et (7), ou du moins par une interface avec un modèle de dépôt qui ne soit pas basé sur les SIG.
4. Une extension intéressante serait d'introduire des éléments probabilistes dans le modèle de stabilité du terrain (en prenant le modèle SINMAP comme exemple) et dans la règle de distinction entre un flux de débris et d'autres types de mouvements.
5. Enfin, le modèle doit être appliqué sur les autres zones d'études (voir figure 1) et les résultats doivent être comparés avec prudence aux observations de terrain et aux données de validation (rapports sur les volumes de matériaux déposés sur la route internationale).

Grâce aux optimisations mentionnées, r.debrisflow sera un outil important pour l'évaluation de l'ampleur potentielle de flux de débris en réponse à des épisodes pluvieux ou de fonte des neiges définis, incluant la possibilité de déterminer des seuils météorologiques pour les risques de flux de débris. Cependant, il est important de noter que tous les résultats ne présentent que des occurrences potentielles avec les cas des pires scénarios ou probabilités - il ne sera probablement jamais possible de prédire la vraie réponse d'un terrain à un événement météorologique dans le monde réel car la nature est trop complexe pour être pleinement comprise dans tous ses détails.

Remerciements

Le projet est financé par le *Doktoratsstipendium aus der Nachwuchsförderung der LFU* et par des subventions venant de l'Office pour les Relations Internationales et les Facultés pour les Sciences Naturelles, Université d'Innsbruck, ainsi que de l'Académie des Sciences Autrichienne et du Gouvernement Fédéral de la Haute-Autriche. Merci à Hans Stoetter, Axel Borsdorf, Clemens Geitner et Stella Moreiras pour leur soutien.

Bibliographie

- [1] A. Burton, J.C. Bathurst (1998) Physically based modelling of shallow landslide sediment yield at a catchment scale. *Environmental Geology* 35,2-3 : 89-99.
- [2] J. Corominas, R. Copons, J.M. Vilaplana, J. Altamir, J. Amigó (2003) Integrated Landslide Susceptibility Analysis and Hazard Assessment in the Principality of Andorra. *Natural Hazards* 30 : 421-435.
- [3] B. D. Hughes (1995) Random walks and random environments : Volume 1 : Random Walks. Oxford University Press. 652 pp.
- [4] X. Li (2007) Finite element analysis of slope stability using a nonlinear failure criterion. *Computers and Geotechnics* 34 : 127-136.
- [5] S.M. Moreiras (2005) Climatic effect of ENSO associated with landslide occurrence in the Central Andes, Mendoza Province, Argentina. *Landslides* 2 : 53-59.
- [6] J.S. O'Brien (2003) FLO-2D Users' Manual Version 2003.06, July 2003. FLO-2D Software Inc., Nutrioso, Arizona, USA. 232 pp.
- [7] S.P. Pudasaini, K. Hutter (2007) Avalanche Dynamics : Dynamics of rapid flows of dense granular avalanches. Springer, Berlin Heidelberg. 602 pp.
- [8] D. Rickenmann (1999) Empirical Relationships for Debris Flows. *Natural Hazards* 19 : 47-77.
- [9] S.B. Savage, K. Hutter (1989) The motion of a finite mass of granular material down a rough incline. *Journal of Fluid Mechanics* 199 : 177-215.

- [10] B.C. Vandre (1985) Rudd Creek debris flow. In : D.S. Bowles (ed) : Delineation of landslide, flash flood, and debris flow hazards in Utah. Utah Water Research Laboratory, Utah State University, Logan, Utah, 117-131.
- [11] V. Wichmann (2006) Modellierung geomorphologischer Prozesse in einem alpinen Einzugsgebiet - Abgrenzung und Klassifizierung der Wirkungsräume von Sturzprozessen und Muren mit einem GIS. Eichstaeter geographische Arbeiten 15 : 231 pp. In German.
- [12] P.L. Wilkinson, M.G. Anderson, D.M. Lloyd (2002) An integrated hydrological model for rain-induced landslide prediction. *Earth Surface Processes and Landforms* 27 : 1285-1297.
- [13] M. Xie, T. Esaki, G. Zhou, Y. Mitani (2003) Three-dimensional stability evaluation of landslides and a sliding process simulation using a new geographic information systems component. *Environmental Geology* 43 : 503-512.
- [14] M. Xie, T. Esaki, M. Cai (2004) A time-space based approach for mapping rainfall-induced shallow landslide hazard. *Environmental Geology* 46 : 840-850.
- [15] C.T. Yang (1973) Incipient motion and sediment transport. *Journal of the Hydraulics Division. Proceedings of the American Society of Civil Engineers* 99 : 1679-1703.

Martin Mergili

*University of Innsbruck, Institute of Geography
and Austrian Academy of Sciences, Mountain Research
www.uibk.ac.at/geographie/personal/mergili
[martin.mergili AT uibk.ac.at](mailto:martin.mergili@uibk.ac.at)*

Wolfgang Fellin

*University of Innsbruck, Institute of Infrastructure
www.uibk.ac.at/geotechnik/staff/fellin-en
[wolfgang.fellin AT uibk.ac.at](mailto:wolfgang.fellin@uibk.ac.at)*

The [Open Source Geospatial Foundation](http://www.osgeo.org), or OSGeo, is a not-for-profit organization whose mission is to support and promote the collaborative development of open geospatial technologies and data. The foundation provides financial, organizational and legal support to the broader open source geospatial community. It also serves as an independent legal entity to which community members can contribute code, funding and other resources, secure in the knowledge that their contributions will be maintained for public benefit. OSGeo also serves as an outreach and advocacy organization for the open source geospatial community, and provides a common forum and shared infrastructure for improving cross-project collaboration.

Publié par l'OSGeo, le Journal de l'OSGeo a pour objectif de publier les résumés des conférences, étude de cas et introduction, et les concepts liés à l'open source et aux logiciels en géomatique.

Équipe éditorial :

- Angus Carr
- Mark Leslie
- Scott Mitchell
- Venkatesh Raghavan
- Micha Silver
- Martin Wegmann

Rédacteur en Chef :

Tyler Mitchell - [tmitchell AT osgeo.org](mailto:tmitchell@osgeo.org)

Remerciements

Divers relecteurs & le project GRASS News

Le *Journal de l'OSGeo* est une publication de la *Fondation OSGeo*. La base de ce journal, le source des styles L^AT_EX₂ε a été généreusement fournie par le bureau d'édition de GRASS et R.



Ce travail est sous licence Creative Commons Attribution-No Derivative Works 3.0 License. Pour lire une copie de cette licence, visitez : creativecommons.org.



All articles are copyrighted by the respective authors — contact authors directly to request permission to re-use their material. See the OSGeo Journal URL, below, for more information about submitting new articles.

Journal en line : <http://www.osgeo.org/journal>

OSGeo Homepage : <http://www.osgeo.org>

Courrier postal : OSGeo

PO Box 4844, Williams Lake,

British Columbia, Canada, V2G 2V8

Téléphone : +1-250-277-1621



ISSN 1994-1897

This PDF article file is a sub-set from the larger
OSGeo Journal. For a complete set of articles
please the Journal web-site at:

<http://osgeo.org/journal>