



ISSN 0037.9611

Société vaudoise des Sciences naturelles



Les dangers naturels en Suisse: pratiques et développements



Comptes rendus de la deuxième Journée de
Rencontre sur les Dangers Naturels.

(Université de Lausanne, 18 février 2011)



Pierrick NICOLET, Marc-Henri DERRON & Michel
JABOYEDOFF (Eds.)



TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS <i>Pierrick Nicolet, Marc-Henri Derron & Michel Jaboyedoff</i>	5
PRÉFACE <i>Christophe Bonnard</i>	8
DANGERS HYDROLOGIQUES <i>Prévision des précipitations et des crues</i>	
1. Mise en évidence de relations spatiales entre la circulation atmosphérique générale et les précipitations mesurées sur le bassin alpin du Rhône, à l'aide de la méthode des analogues <i>Pascal Horton, Michel Jaboyedoff, Richard Metzger, Charles Obled & Renaud Marty</i>	11
2. Détermination des précipitations extrêmes en Suisse à l'aide d'analyses statistiques et augmentation des valeurs extrêmes durant le 20 ^{ème} siècle <i>Jean-Michel Fallot & Jacques-André Hertig</i>	23
3. Modélisation hydrologique des précipitations et des crues extrêmes dans les bassins versants alpin <i>Ramona Georgeta Receanu, Jacques-André Hertig & Jean-Michel Fallot</i>	35
4. Présent et futur des prévisions hydrologiques pour la gestion des crues. Le cas du Rhône alpin <i>Javier García Hernández, Jean-Louis Boillat, Isabelle Feller & Anton Schleiss</i>	55
<i>Danger d'inondation</i>	
5. Cartes des phénomènes d'inondation de deux bassins versants marocains: problèmes méthodologiques <i>Emmanuel Reynard, Gabriela Werren, Mohamed Lasri, Khalid Obda & Yaya El Khalki</i>	71
6. Eléments pour l'évaluation des dangers naturels en milieux karstiques <i>Jonathan Vouillamoz & Pierre-Yves Jeannin</i>	83
<i>Laves torrentielles</i>	
7. Installation d'un suivi en continu des crues et laves torrentielles dans les Alpes françaises <i>Oldrich Navratil, Frédéric Liébault, Hervé Bellot, Joshua Theule, Xavier Ravanat, Frédéric Ousset, Dominique Laigle, Vincent Segel, Marc Fiquet</i>	93
8. Bilan sédimentaire dans le torrent du Manival (Préalpes françaises) <i>Joshua Theule, Frédéric Liébault, Alexandre Loye, Dominique Laigle, Michel Jaboyedoff</i>	109
<i>Analyse et gestion du risque</i>	
9. Le Plan Général d'Aménagement des Eaux (PGAE) – Un outil de planification pour la mise en pratique de la gestion intégrée des eaux par bassin versant <i>Stefano Dazio, Reto Flury, Michael Brögli, Roland Hollenstein & Claudia Nydegger</i>	119
10. Outil d'analyse de la vulnérabilité du bâti aux inondations et de réduction du risque <i>Eric Leroi, Marc Choffet, Arnaud Mayis, Renzo Bianchi, Michel Jaboyedoff, Ehrfried Kölz, Olivier Lateltin</i>	127

 INSTABILITÉS ROCHEUSES ET GLACIAIRES
Écroulements et instabilités glaciaires

11. Combiner géomorphologie et géochronologie absolue pour distinguer les dépôts d'écroulement des dépôts glaciaires 137
Philip Deline, Naki Akçar, Susan Ivy-Ochs, Vasily Alfimov, Irka Hajdas, Peter W. Kubik, Marcus Christl & Christian Schlüchter

12. Climat et écroulements rocheux dans le massif du Mont Blanc: vers une augmentation de l'aléa 149
Ludovic Ravanel & Philip Deline

13. Instabilités glaciaires et prédiction 159
Jerome Faillettaz & Martin Funk

Trajectographies et zonage du danger

14. Modèles de trajectographie: atout ou contrainte 175
Luuk Dorren & Frédéric Berger

15. Zonage du danger de chutes pierres à partir de simulations trajectographiques 3D: expérience du Canton du Valais 189
Jean-Bruno Pasquier, Johann Fleury, Olivier Besson & Jean-Daniel Rouiller

16. Etablissement d'une carte de danger «chute de pierres/blocs» pour le site du Mont Chemin (Valais) à l'aide de programmes trajectographiques 3D. 199
Florence May, Olivier Besson, Michèle Lettingue, Jean-Bruno Pasquier & Jean-Daniel Rouiller

17. Comparaison de différentes méthodologies de zonage de l'aléa chutes de blocs: problème d'uniformisation des procédures existantes 211
Jacopo Abbruzzese & Vincent Labiouse

Analyse quantitative du risque

18. Exemple d'application dans le Jura du concept de risque pour les dangers naturels sur les routes nationales 219
Valérie Kohler, Luuk Dorren & Philippe Arnold

19. Estimation quantitative du risque (QRA) pour les bâtiments induit par des éboulements rocheux: état des lieux 229
Jordi Corominas & Olga-Christina Mavrouli

Gestion du risque

20. Caractérisation, suivi et assainissement des instabilités rocheuses à la carrière d'Arvel 243
Renaud Chanry, Andrea Pedrazzini, Michel Jaboyedoff & Etienne Stämpfli

21. TGV Paris Genève: le plus grand chantier français de filets de protection contre les chutes de blocs 263
Hugues Foltzer

AUTRES DANGERS

Glissements de terrains

22. Analyses géo-mécaniques des glissements de terrain superficiels 279
John Eichenberger, Alessio Ferrari & Lyesse Laloui

23. Assainissement du glissement de La Saussaz: état de stabilité 10 ans après les travaux 295
Jean-François Brodbeck & Renaud Marcelpoix

Aléas sismiques et volcaniques

24. Evaluation des effets de site sismiques dans le canton de Genève – Etat des lieux 303
Corine Frischknecht, Sandra Hurter, Olivier Kaufmann & Azarm Farzam

25. Approche expérimental dans la compréhension des dangers liés aux éruptions volcaniques 311
Irene Manzella, Laura Pioli, Gholamhossein Bagheri, Hélène Monnard, Jeremy Phillips & Costanza Bonadonna

MÉTHODES

26. Exploitation d'archives de données satellitaires de radar à synthèse d'ouverture (SAR) pour la cartographie et la surveillance de glissements de terrain au niveau régional et à l'échelle locale 321
Alessandro Ferretti, Andrea Tamburini, Marco Bianchi, Massimo Broccolato & Davide Carlo Guido Martelli

27. Application de la sismique hybride dans les sous-sols instables 331
Philippe Corboz & Walter Frei

28. Corrélation multi-dates de données de scanner laser terrestre pour la caractérisation de la cinématique de glissements de terrain 341
Julien Travalletti, Jean-Philippe Malet & Christophe Delacourt

GESTION DES RISQUES LIÉS AUX DANGERS NATURELS

29. Avancement du projet de réalisation des cartes de dangers naturels et de leur transcription dans l'aménagement du territoire, canton de Vaud 355
Nadia Christinet, Christian Gerber & Claire-Anne Dvorak

30. Un défi des gestionnaires de territoire: comment composer avec les différentes définitions des risques? 363
Manuela Fernandez, Jean Ruegg & Gilles Brocard

31. Dangers naturels dans une commune de montagne, Ormont-Dessus 375
Michel Jaboyedoff & Marc-Henri Derron

POSTFACE

32. Postface: La gestion des risques naturels est une dynamique 393
Michel Jaboyedoff, Marie Charrière, Marc-Henri Derron, Pierrick Nicolet & Karen Sudmeier-Rieux

AVANT-PROPOS DES EDITEURS

INTRODUCTION

La deuxième Journée de Rencontre sur les Dangers Naturels (JRDN 2011) a eu lieu à l'Université de Lausanne le 18 février 2011. Elle a montré la vivacité de ce domaine en Suisse en réunissant plus de 150 participants issus du monde académique, d'administrations publiques ou de bureaux privés. 22 présentations orales ont été données et 17 posters présentés. Toutes ces contributions étaient accompagnées d'un article et l'idée a été lancée d'en sélectionner une partie pour faire le mémoire que vous tenez aujourd'hui entre les mains. Tous les articles ont été examinés et critiqués par des spécialistes du domaine afin d'en assurer la qualité. Cet ouvrage offre donc un panorama, le plus large possible, des pratiques et développements en matière de prévention, d'analyse et de gestion des dangers naturels, en particulier en Suisse-romande, mais aussi dans le reste de la Suisse et de l'Europe.

L'Office Fédéral de l'Environnement annonçait, au printemps 2012, que quatre cinquièmes des cartes de dangers naturels avaient été établies. Cette démarche a été initiée en 1984 pour les avalanches, puis en 1997 pour les dangers dus aux crues et aux mouvements de terrain. La JRDN 2011 a montré que les méthodes de cartographie des dangers naturels et des problèmes associés demeurent en pleine évolution et que de nombreux travaux restent à réaliser pour une gestion intégrée des dangers naturels: la JRDN 2011 s'inscrit dans cet agenda.

CONTENU DU MÉMOIRE

Dans ce volume, les articles sont groupés par thématique et sont disposés, à l'intérieure de chaque thématique, de manière à mener le lecteur de la compréhension du phénomène en lui-même jusqu'à la gestion du risque en passant par les questions méthodologiques de cartographie du danger et d'analyse du risque. Le mémoire reprend cette structure puisque le lecteur trouvera, en dernière partie, des articles sur des questions plus générales ayant trait à la gestion du risque.

La première partie aborde le thème des dangers liés à l'eau et part de la prévision des précipitations et des crues pour arriver aux problèmes liés à la cartographie des dangers, puis passe à l'étude des laves torrentielles et enfin à la question de l'analyse et la gestion du risque. **HORTON *et al.*** décrivent la méthode des analogues utilisée pour la prévision des précipitations, tandis que **FALLOT & HERTIG** s'intéressent aux précipitation extrêmes sous l'angle de leur fréquence. **RECEANU *et al.*** décrivent un modèle hydrologique ayant pour but la prévision des hydrogrammes de crues. Un outil d'aide à la décision pour la gestion des flux hydrauliques dans le bassin du Rhône, à l'amont du Léman, est présenté par **GARCÍA-HERNÁNDEZ *et al.*** Des problèmes méthodologiques de cartographie des phénomènes d'inondation dans les bassins versants de Fès et Beni Mellal, au Maroc sont présentés par **REYNARD *et al.***, alors que **VOUILLAMOZ & JEANNIN** examinent les défis posés par le milieu karstique dans la prévision des dangers naturels, et en particulier des dangers d'inondation.

Ensuite, deux articles présentent des cas de laves torrentielles, tout d'abord sous l'angle de l'instrumentation (**NAVRATIL *et al.***), puis sous celui du bilan sédimentaire (**THEULE *et al.***). Enfin, ce chapitre se termine par un article de **DAZIO *et al.*** traitant de l'aménagement des cours d'eau et intégrant les problématiques de crues à un cadre plus général et un article de **LEROI *et al.*** présentant un outil d'analyse de la vulnérabilité du bâti face aux inondations.

La deuxième partie s'intéresse aux phénomènes rocheux et glaciaires. Deux articles traitent des écroulements rocheux en milieux glaciaire: **DELINE *et al.*** discutent de la distinction entre les dépôts glaciaires et les écroulements à l'aide du cas du Val Ferret, en Italie, alors que **RAVANEL & DELINE** étudient l'effet du climat sur les écroulements rocheux en haute montagne. Toujours dans le milieu glaciaire, **FAILLETAZ & FUNK** présentent des cas d'instabilités glaciaires mécanique et de glissement et parlent de la prévision de la rupture pour ces deux mécanismes. La question du zonage du danger de chutes de blocs au moyen de trajectographies est ensuite abordée par le biais d'un article de **DORREN & BERGER** sur le champ d'application de ces méthodes, puis par le biais des questions méthodologiques liées au passage de trajectographies en 2D aux trajectographies en 3D, qui imposent de nouveaux critères, par **PASQUIER *et al.*** et **MAY *et al.*** Toujours dans la thématique du zone du danger de chutes de blocs, **ABBRUZZESE & LABIOUSE** comparent différentes méthodes de zonage appliquées en Europe dans l'optique d'une harmonisation. Le risque est abordé par **KOHLER *et al.*** au travers d'un exemple d'application de la méthode de risque développée pour les routes nationales, puis par **COROMINAS & MAVROULI** qui présentent une méthode, appliquée pour une zone résidentielle, qui prend en compte la structure des bâtiments. Cette partie se termine par la présentation de deux cas de gestion de zones instables, la première étant la carrière d'Arvel, à Villeneuve, où un dispositif de suivi a été mis en place (**CHANTRY *et al.***) et le deuxième étant un important chantier de filets de protections le long de la ligne TGV Paris–Genève (**FOLTZER**).

D'autres types de dangers, moins largement traités lors de la conférence sont ensuite présentés. Il s'agit notamment des glissements de terrains, qui sont traités par le biais d'analyses géomécaniques appliquées aux glissements superficiels (**EICHENBERGER *et al.***), puis par celui de la mesure de l'efficacité de travaux de stabilisation d'un grand glissement à Villars-sur-Ollon (**BRODBECK & MARCELPOIX**). Les aléas sismiques et volcaniques font l'objet des deux autres articles de cette partie. **FRISCHKNECHT *et al.*** nous présentent une étude du potentiel d'effet de site sous sollicitation sismique dans le canton de Genève. Puis, **MANZELLA *et al.*** nous font connaître leur différentes méthodes expérimentales visant à mieux comprendre les dangers liés aux éruptions volcaniques.

La quatrième partie est constituée d'articles sur de nouvelles méthodes de mesure. **FERRETTI *et al.*** consacrent leur article à l'exploitation de longues séries temporelle de données de radar satellitaires pour la mesure de mouvement à l'aide de la méthode des réflecteurs permanents. **CORBOZ & FREI** présentent, à travers différents exemples, l'utilisation couplée de la sismique réfraction et de la sismique réflexion. Enfin, **TRAVELLETTI *et al.*** exposent une méthode permettant de dériver des champs de déformation 3D à partir de données de scanner laser.

Pour finir, la dernière partie aborde des questions plus générales concernant la gestion du risque et la procédure de cartographie des dangers naturels. **FERNANDEZ *et al.*** font état, à travers un cas d'étude au Guatemala, de la difficulté d'intégrer les différentes lectures

possibles du risque dans leur gestion, tandis que **CHRISTINET *et al.*** présentent l'avancement de la cartographie des dangers dans le canton de Vaud, ainsi que les perspectives liées à l'utilisation de ces cartes. En addition à ces 30 articles, le compte-rendu de l'excursion de la SVSN dédiée aux dangers naturels dans la vallée des Ormonts du 3 octobre 2010 est présenté en fin de volume (**JABOYEDOFF & DERRON**).

Outre les articles décrits ci-dessus, la préface de Christophe **BONNARD** enjoint les communautés académiques, des administrations et des bureaux d'études à plus orienter leur travail sur le problème de la gestion des risques. Ceci sera, nous l'espérons, l'objet de la prochaine JRDN. Ce volume est clos par une postface de **JABOYEDOFF *et al.*** qui fait état des notamment événements marquant ayant eu lieu entre la JRDN 2011 et la publication de ce mémoire, ainsi que des enseignements qui peuvent en être tirés en ce qui concerne la gestion du risque.

REMERCIEMENTS

Nous remercions vivement les participants à la deuxième journée de rencontre sur les dangers naturels, en particulier les auteurs des articles pour leurs contributions dont la qualité et l'apport à la compréhension des dangers naturels justifient ce mémoire.

De nombreuses personnes ont participé à l'organisation de la journée ou à la relecture des articles, il s'agit (en espérant n'oublier personne) de Vincent Baudraz, Christophe Bonnard, Dario Carrea, Olivier Caspar, Marie Charrière, Marc Choffet, Nadia Christinet, Dimitri Delitroz, Pierre Dèzes, Pilar Eraso, Pierre Escher, Jean-Michel Fallot, Loris Foresti, Lucie Fournier, Laurence Golaz, Myriam Granges, Marc-Antoine Habisreutinger, Pascal Horton, Florian Humair, Amenan Agnès Kouamé, Céline Longchamp, Alexandre Loye, Battista Matasci, Giona Matasci, Richard Metzger, Clément Michoud, Diane Morratel, Emmanuel Nduwayezu, Jonas Nessi, Andrea Pedrazzini, Benjamin Rudaz, Martine Ruiz, Lucien Schreiber, Carole Schröcker, Izabela Spinello, Karen Sudmeier-Rieux, Alain Tabotta et Michele Volpi. Une grand merci à toutes ces personnes pour leur travail et leurs conseils.

La publication de ce mémoire a été rendue possible grâce au soutien financier de la *Faculté des Géosciences et de l'Environnement*, de la *Fondation Dr. Joachim de Giacomi*, de l'*Unité Dangers Naturels de l'Etat de Vaud*, de la *Fondation Vaudoise Jérémime, Lugeon et Rabot pour la Géologie*, de la *Société Académique Vaudoise* et de l'*Etablissement Cantonal d'Assurance vaudois*. Enfin, le *Centre de Recherche en Environnement Terrestre*, que l'*Institut de Géomatique et d'Analyse du Risque* a intégré en 2012, a permis de compléter ce budget. Merci aux personnes concernées de ces différentes institutions, ainsi qu'à Jean-Luc Eparé et Lyesse Laloui qui nous ont soutenus pour les recherches de financement.

Enfin, merci à la *Société vaudoise des Sciences naturelles*, et en particulier à Jérôme Pellet, Emmanuelle Pouivé et Françoise Mundler pour leur aide et leur travail.

Pierrick Nicolet, Marc-Henri Derron & Michel Jaboyedoff

PREFACE

Les dangers naturels de toute nature sont des phénomènes qui font partie de l'environnement dans lequel nous vivons et qui n'ont des conséquences nuisibles, justifiant leur appellation, que dans la mesure où le développement des activités humaines se trouve affecté par leur occurrence ou leur zone d'extension. L'importance de cet impact des dangers naturels sur l'homme, ses réalisations et ses activités (sans parler du milieu naturel affecté), dépend d'une part de la capacité relative de résistance des objets exposés (au sens large), ce qu'on appelle la vulnérabilité, et d'autre part de la valeur de ces objets (aussi au sens large). Comme il s'agit dans la plupart des cas de phénomènes rares, n'intervenant qu'occasionnellement, de façon unique ou épisodique, les scientifiques cherchent à établir leur probabilité d'occurrence, en fonction de leur intensité, de manière à déterminer les risques.

Il est clair que le premier pas à franchir, dans cette investigation complexe, est de déterminer la nature des dangers (inondations, séismes, éboulements, glissements de terrain, notamment), puis leur importance relative, par un ou plusieurs paramètres permettant de quantifier leur intensité, qui est étroitement relié à leur probabilité d'occurrence; toutes les techniques d'auscultation ou de relevé mises en œuvre visent généralement à acquérir des données permettant de chiffrer ces intensités. Le second pas consiste à évaluer l'extension possible du développement exceptionnel de ces phénomènes, que l'on qualifie d'aléas, et de représenter ces aléas dans des documents cartographiques, appelés en Suisse «cartes de dangers».

Ces deux premières étapes doivent être suivies par l'évaluation des risques, que l'on quantifie par le produit de la probabilité du phénomène considéré par le coefficient de vulnérabilité propre à chaque objet exposé – soit le risque spécifique –, que l'on multiplie enfin par la valeur de cet objet. C'est en fonction de l'importance des risques que l'on peut justifier économiquement les mesures de protection à prendre. C'est donc en principe sur la base des cartes de risques que les dangers naturels peuvent être pris en compte dans les processus d'aménagement du territoire. Mais est-ce vraiment le cas?

En ce qui concerne les quelques 30 contributions présentées lors de la 2^{ème} journée de rencontre sur les dangers naturels, organisée le 18 février 2011 par L'Institut de Géomatique et d'Analyse du Risque (IGAR) de l'Université de Lausanne, il est intéressant de souligner en premier lieu que presque tous les types de dangers naturels ont été abordés, avec une prédominance de thèmes concernant les inondations et les éboulements. Toutefois, la plupart des contributions cherchent à améliorer les méthodes de relevé ou de quantification des paramètres, conduisant à l'évaluation des intensités des phénomènes. Au contraire, seules deux ou trois contributions abordent de façon explicite, parfois partiellement, la problématique des risques et de l'aménagement du territoire, même si elles n'approfondissent pas vraiment les outils conduisant à la quantification des vulnérabilités des objets soumis aux dangers naturels. Il s'agit donc de prendre acte de cette lacune, qui ne se manifeste pas seulement dans ce cadre scientifique, mais s'observe dans de nombreuses publications au niveau international.

Il est important, dans le futur, de promouvoir la publication de contributions traitant plus spécifiquement de l'analyse et de l'évaluation des risques liés aux dangers naturels, car tant que les scientifiques ne seront pas en mesure de proposer des approches solides de cette

problématique, les autorités chargées de l'aménagement du territoire aux différents niveaux (fédéral, cantonal, communal) ne seront pas à même de traiter de façon appropriée la problématique des risques. Ceci conduira à des décisions d'aménagement infondées, voire même à des blocages dans la politique de développement (la commune de Montreux est en train de vivre une telle situation, faute d'une vision claire des enjeux et d'une compréhension de la signification des cartes de dangers).

C'est donc le défi qu'il convient de proposer à l'IGAR, à l'occasion de sa prochaine journée de rencontre sur les dangers naturels: requérir des auteurs qu'ils se focalisent sur l'évaluation des risques, sans tabou et sans contraintes politiques, afin de proposer de nouvelles idées dans l'analyse et l'évaluation des risques. Certes, cette approche requiert une perspective inter-disciplinaire, et donc un effort supplémentaire par rapport à une recherche scientifique dans un domaine ciblé, car les conséquences des dangers naturels doivent être appréhendées de façon concrète et pragmatique. Mais ce n'est qu'à travers ce chemin délicat que la prise en compte des dangers naturels dans l'aménagement du territoire pourra progresser, ainsi que l'a proposé le groupe de travail JTC-1 issu de différentes sociétés internationales traitant de la problématique des mouvements de terrain, dans son ouvrage: GUIDELINES FOR LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY, HAZARD AND RISK ZONING FOR LAND USE PLANNING (FELL *et al.* 2008, FELL *et al.* 2008a)

FELL R., COROMINAS J., BONNARD C., CASCINI L., LEROI E. & SAVAGE W. Z., 2008. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning. *Engineering Geology*, 2008, 102: 85-98

FELL R., COROMINAS J., BONNARD C., CASCINI L., LEROI E. & SAVAGE W. Z., 2008. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning. *Engineering Geology*, 2008, 102: 99-111.

Christophe Bonnard

DANGERS HYDROLOGIQUES

Prévision des précipitations et des crues

(Articles 1, 2, 3 et 4)

Danger d'inondation

(Articles 5 et 6)

Laves torrentielles

(Articles 7 et 8)

Analyse et gestion du risque

(Articles 9 et 10)