

ChangingRISKS: Changing pattern of landslide risks as response to global changes in mountain areas (Modifications spatio-temporelles des risques de mouvement de terrain en montagne en réponse aux changements globaux)

Mots-clés : précipitations, glissements de terrain, changement global, montagnes, gestion et analyse du risque, modélisation

Partenariat :

CNRS – Institut de Physique du Globe de Strasbourg, France

CNRS - Laboratoire Image, Ville, Environnement, Strasbourg, France

Université de Vienna – Département de Géographie et d'Aménagement Régional, Vienna, Autriche

CSIC – Station expérimentale d'Aula Dei, Saragosse, Espagne



► **Objectifs**

Les glissements de terrains dans les pays alpins sont identifiés par les autorités, les politiques et les scientifiques comme des menaces sérieuses à la fois socialement et économiquement ; ils représentent un risque important pour les populations et leurs biens. Malgré les nombreuses avancées scientifiques depuis près de 10 ans sur les mouvements de terrain, il n'existe pas une méthodologie pour gérer ces risques qui soit (1) adaptable dans de nombreux contextes climatiques et sociétaux, (2) applicable à des scénarii qui intègrent les changements globaux (climatiques, occupation du sol) et (3) directement connectable aux demandes concrètes des gestionnaires. Le projet **ChangingRISKS** a pour objectif d'améliorer les connaissances sur comment les changements globaux (climatiques et socio-économiques) modifieront la fréquence et l'intensité des aléas mouvements de terrain sur deux sites alpins, et comment ces changements peuvent être analysés, modélisés et communiqués (à travers des cartes) aux autorités. Le projet a été appliqué sur deux régions montagnardes : le bassin de *Barcelonnette* en France, et le bassin de *Waidhofen/Ybbs* en Autriche. D'un point de vue scientifique le projet avait comme objectif majeur de développer une méthodologie opérationnelle et générique pour quantifier et gérer l'aléa et le risque mouvement de terrain qui tienne compte de l'impact du changement global sur les facteurs de contrôle. D'un point de vue technique, le projet souhaitait développer une plateforme SIG d'expérimentation et de démonstration capable de cartographier de manière semi-automatique l'aléa, la vulnérabilité et le risque.

► **Coût du projet et financement reçu de Circle-2 MOUNTain**

Financement reçu de ERA-NET CIRCLE-2: 295.010 €

► **Etudes de cas**

Le bassin de Barcelonnette (France):

Le bassin de Barcelonnette (350 km²) est situé dans le sud-est de la France, dans le département des Alpes-de-Haute-Provence. Il est localisé dans un secteur montagnard (1100 à 3000 m d'altitude) qui

associe une lithologie marneuse (les *Terres Noires*), des nappes de charriage (flysch) et de vastes dépôts morainiques. Le bassin est localisé dans la zone sèche intra-Alpine caractérisée par (1) un climat montagnard marqué par une grande variabilité interannuelle (735 ± 400 mm sur la période 1928-2010) et 130 jours de gel par an, (2) un caractère continentale avec des amplitudes thermiques journalières significatives (>20°) et (3) une influence méditerranéenne avec des épisodes orageux violents et intenses (50 mm.h⁻¹). L'occupation du sol actuelle est marquée par l'empreinte des nombreux processus de versant et torrentiels liés à la déforestation massive opérée jusqu'au 18^{ème} siècle. A partir de la moitié du 19^{ème} siècle, la reforestation et la correction torrentielle ont permis de juguler ces aléas (qui ont engendrés de nombreux dégâts sur les populations locales) mais ont modifié radicalement l'occupation du sol. Après la 2^{ème} Guerre Mondiale, l'urbanisation galopante et la déprise rurale progressive ont été les moteurs principaux des changements d'occupation du sol. Le développement récent de cette urbanisation et l'accroissement de l'activité touristique ont eu comme conséquence une pression foncière et urbaine accrue sur des terrains susceptibles de déclencher des mouvements de terrain. L'aléa mouvement de terrain est ainsi très élevé dans ce secteur, les pentes étant frappé par de nombreux phénomènes : ravinement, glissements superficiels, laves torrentielles, glissements profonds.

Waidhofen/Ybbs (Autriche) :

La commune et le district de Waidhofen/Ybbs est situé dans le sud-ouest de l'Autriche. D'une superficie de 130 km², le site s'étend de 365 m à 1115 m d'altitude. 11 500 habitants peuplent la commune de Waidhofen/Ybbs. Les précipitations annuelles sont très variables, de 800 mm par an au nord du secteur à près de 2000 mm par an dans le sud. L'occupation du sol est principalement composée de surfaces forestières et agricoles. Dans la partie sud, la forêt prédomine alors que dans la partie nord ce sont les surfaces agricoles qui dominent le paysage. Waidhofen/Ybbs peut être considérée comme la capitale régionale de ce secteur, elle est située au cœur du territoire où la rivière Ybbs forme sa plaine inondable ; cette rivière est à l'origine de nombreuses crues depuis des siècles. La géologie est composée majoritairement de calcaires, de flysch et de dolomies. Les archives montrent que dès 1312, le secteur a été touché par d'importantes crues. Les premiers mouvements de terrain, dans ce cas présent des chutes de blocs, ont été enregistrés en 1589. Des laves torrentielles ont régulièrement détruit ou endommagé des infrastructures routières et ferroviaires, mais les archives ne sont complètes et exhaustives que depuis quelques décennies. A partir des années 1950, les archives rendent compte de tous les phénomènes géologiques qui ont frappe le territoire communal. Néanmoins, ces registres ne tiennent compte que des phénomènes qui ont engendré des dégâts.

► **Résultats :**

Le projet est structuré en 5 tâches, centrées sur : la caractérisation de l'activité passée en actuelle des mouvements de terrain (WP1), l'analyse des facteurs de contrôle passés et actuels (WP2), l'analyse de l'aléa mouvement de terrain (WP3), l'analyse du risque mouvement de terrain, et enfin la définition d'indicateurs de changement de la vulnérabilité des versants montagnards (WP5).

L'influence des changements climatiques et d'occupation du sol sur l'activité des mouvements de terrain a été analysée à l'aide de différentes méthodes (statistique, empirique et modélisation à base physique) sur les deux sites d'étude : le bassin de Barcelonnette et la vallée de Waidhofen/Ybbs. L'analyse de susceptibilité menée sur Waidhofen/Ybbs montre clairement qu les changements d'occupation du sol ont ainsi une influence certaine sur la susceptibilité des terrains (Fig. 1).

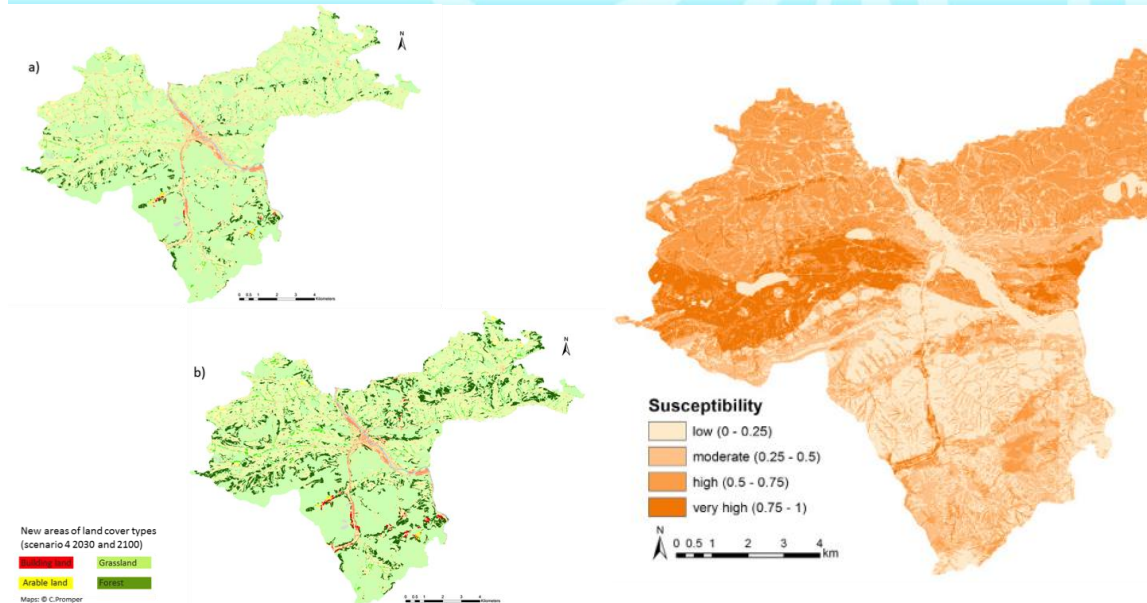


Figure 1 : Occupation du sol et modélisation de la susceptibilité pour le secteur de Waidhofen/Ybbs

Concernant les changements induits par le climat, les analyses démontrent que les tendances de l'évolution de la susceptibilité liée au changement climatique sont les similaires pour les deux sites, malgré leurs différences (climatiques, géomorphologiques). Les modèles, basés sur le scénario IPCC A1B et adaptée à l'échelle locale, prédisent une augmentation probable de l'activité des mouvements de terrain. Cette augmentation se traduirait par une augmentation conjointe de la fréquence temporelle et de la surface des zones potentiellement instables. Cependant, les modèles nécessitent des données très précises, ils doivent donc être systématiquement adaptés à l'échelle locale du site d'étude. Les différences entre les modèles globaux (à une large échelle spatiale) et les modèles adaptés à l'échelle locale s'explique par un processus plus rigoureux de la phase de calage et de validation. De plus, à une échelle locale, l'influence de la topographie sur le climat (pluies essentiellement) est beaucoup mieux prise en compte. En terme de prospective, pour améliorer ces analyses, ils seraient judicieux de :

- Valider ces méthodes sur d'autres sites pour améliorer la robustesse des modèles ;
- Intégrer les autres scénarios IPCC pour mieux rendre compte de la variabilité climatique ;
- Considérer l'évolution future de la géomorphologie (pentes et matériaux géologiques) provoquée par les mouvements de terrain et l'activité anthropique.

La comparaison en termes d'exposition aux risques mouvements de terrain sur les deux sites (situation actuelle et situation future) a été menée en bâtissant des cartes d'indices de dommages potentiels (PDI, Fig. 2) en fonction des scénarios climatiques envisagés. L'application et la validité de la méthode dépendent beaucoup de la disponibilité et la qualité des données. Les résultats montrent que si l'influence des changements climatiques et des changements d'occupation du sol est bien prise en compte par les modèles d'évolution, l'influence des changements démographiques et économiques est plus difficile à analyser à cette échelle d'analyse.

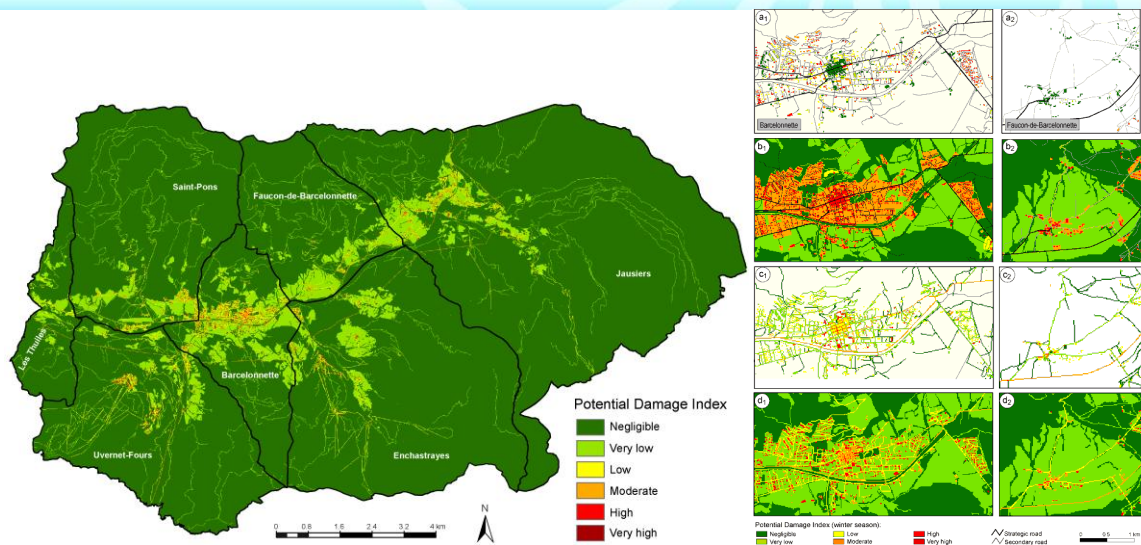


Figure 2: Carte d'indice de dommages potentiels pour la saison estivale sur le site du bassin de Barcelonnette.

Comme dans le cadre de l'analyse de la susceptibilité et de l'aléa, les deux sites d'études montrent des résultats similaires pour l'étude des risques : dans les deux cas les risques vont augmenter, l'intensité de cette augmentation dépend essentiellement des paramètres pris en compte dans l'analyse. Considérant l'incertitude élevée quant aux données d'évolution de la population et du trafic routier, il est nécessaire de rester prudent sur l'interprétation des résultats. L'influence de l'hydrologie et de l'occupation du sol sur le facteur de sécurité a été analysée, cette méthodologie a été développée pour simplifier et accélérer l'estimation des zones susceptibles de déclencher un mouvement de terrain. Là encore les résultats sont prometteurs, mais doivent être améliorés en intégrant par exemple une plus large variété d'évolution de l'occupation du sol et/ou une analyse détaillée des changements de la végétation. Parallèlement, l'analyse de la vulnérabilité (physique et sociétale) des futures constructions a été menée. Pour l'intégrer à la gestion globale des futurs risques associés aux mouvements de terrain, il est nécessaire d'adapter cette méthode à toute la gamme des mouvements de terrain. Ainsi, l'évolution du risque serait une combinaison des changements de l'aléa (fréquence et intensité), de l'exposition et de la vulnérabilité.

5 références reliées au projet :

- Promper, C., Puissant, A., Malet, J.-P., Glade, T. (submitted). Spatiotemporal development of the land cover as a basis for possible distribution of elements at risk - Case study Waidhofen/Ybbs (Austria). *Applied Geography* (submitted in September 2013).
- Puissant, A., Van Den Eeckhaut, M., Malet, J.-P., Hervas, J. Maquaire, O. Regional-scale semi-quantitative consequence analysis in the Barcelonnette Region, Southern France. *Landslides, Journal of the International Consortium on Landslides*, 15p. (submitted in January 2012).
- Remaître, A., Malet, J.-P. (submitted). Rainfall patterns and climatic conditions associated to debris flows and mudslides at different time scales. A case study in the South French Alps. *Geomorphology*, 18p. (submitted in January 2013).
- Spickermann, A., Travelletti, J., Malet, J.-P., van Asch, Th.W.J. A dynamic model to quantify the development of slow-moving landslides in clayey soils. *Earth Surface Processes and Landforms*, 14p. (submitted in October 2012).
- Stumpf, A., Lachiche, N., Malet, J.-P., Kerle, N., Puissant, A. 2013. Active learning in the spatial domain for landslide mapping with VHR optical images. *IEEE Transactions on Geosciences & Remote-Sensing*, 21p. (Accepted, in press).