

16. Etablissement d'une carte de danger «chute de pierres/blocs» pour le site du Mont Chemin (Valais) à l'aide de différents programmes trajectographiques 3D.

par

Florence MAY¹, Olivier BESSON¹, Michèle LETTINGUE¹, Jean-Bruno PASQUIER²
& Jean-Daniel ROUILLER³

Résumé.—MAY F., BESSON O., LETTINGUE M., PASQUIER J.-B. & ROUILLER J.-D., 2013. Etablissement d'une carte de danger «chute de pierres/blocs» pour le site du Mont Chemin (Valais) à l'aide de différents programmes trajectographiques 3D. *Mémoire de la Société vaudoise des Sciences naturelles* 25: 199-209.

L'analyse trajectographique est actuellement un des outils essentiels à la création d'une carte de danger «chute de pierres/blocs». Avec l'apparition des modèles numériques de terrain, les simulations évoluent de la 2D à la 3D. Plusieurs programmes informatiques sont disponibles pour la simulation trajectographique 3D, ayant tous leurs particularités liées aux paramètres d'entrée et aux résultats fournis. Dès lors, il faut composer avec différentes méthodes pour créer la carte de danger.

L'étude menée au Mont Chemin (Valais) a pour but de comparer les résultats obtenus sur un même site à l'aide de deux programmes trajectographiques 3D: Rockyfor3D v.3 (simulations avec et sans forêt) et Pir3D v.3, de les confronter avec les événements historiques et de proposer des périmètres de danger découlant de ces résultats.

La démarche décrite est celle utilisée pour aboutir à la carte de danger la plus objective et la plus réaliste possible. Le passage du 2D en 3D demande une adaptation des critères nécessaires à l'établissement des périmètres de danger. Pour le canton du Valais, ces critères ont été établis par la méthodologie «Matterock» (ROUILLER *et al.* 1998) et par les recommandations fédérales (OFAT, OFEE, OFEFP 1997). Le passage en 3D ne permet pas d'appliquer tels quels ces critères. Restent les données historiques et les observations de terrain pour traiter les informations fournies par les programmes (énergie, propagation, zone de dépôt,...) et délimiter les périmètres de danger.

Mots clés: Chutes de pierres/blocs, trajectographie 3D, carte de danger, Valais.

¹Bureau Tissières SA; Rue des Prés-de-la-Scie 2, CH-1920 Martigny; tél.: +41 (0)27 722 05 49.
E-mail: florence.may@tissieres-sa.ch

²Geoval Ingénieurs-Géologues SA, Marjorie 8, CH-1950 Sion.

³Projet Interreg4 – RiskNat c/o CREALP, CH-1951 Sion.

INTRODUCTION

L'analyse trajectographique est actuellement un outil essentiel à la création d'une carte de danger. Dans le canton du Valais, l'élaboration des cartes de danger est basée sur la méthodologie «Matterock» (ROUILLER *et al.* 1998) et sur les recommandations fédérales (OFAT, OFEE, OFEFP 1997) qui fixent les limites d'évaluation du degré de danger.

Plusieurs programmes sont disponibles permettant d'effectuer des simulations de trajectographies 3D. Ils ont tous leurs particularités liées aux paramètres d'entrée et aux résultats fournis. Dès lors, il faut composer avec différentes méthodes pour réaliser la carte de danger.

L'étude présentée se situe sur le versant W, NW du Mont Chemin (Valais) (figure 1). Elle se base sur les résultats fournis par les programmes de trajectographie Rockyfor3D v.3 et PiR3D v.3 ainsi que sur les observations de terrain et les événements historiques. Entre 2004 et 2011, plusieurs blocs de 0.05 à 2,2 m³ ont atteint la route cantonal Martigny-Bourg – Mont-Chemin et la zone à bâtir.

Le but de cet article est de présenter la méthodologie suivie pour arriver à la carte de danger la plus objective et réaliste possible.

MÉTHODE

Présentation des programmes

PiR3D

PiR3D, commercialisé par la société Géociel, est l'un des premiers logiciels de modélisation de chutes de blocs intégrant la troisième dimension (COTTAZ 2010). Les paramètres d'entrée sont:

- Un modèle numérique de terrain (MNT)
- Une carte des sols comprenant les caractéristiques géomécaniques (coefficients de restitution normal (Rn) et tangentiel (Rt))
- Des «lignes sources» ou points qui déterminent la zone de départ des blocs
- Le nombre de blocs répartis dans la zone de départ
- La masse volumique des blocs [kg/m³]
- Un mode de calcul déterministe ou probabiliste.

Rockyfor 3D v.3

Rockyfor3D v.3, développé par la société EcorisQ (DORREN 2009), permet une simulation des blocs en 3D. C'est un modèle probabiliste qui associe des algorithmes déterministes aux observations de terrain et offre la possibilité de prendre en compte la forêt dans les simulations.

Les paramètres d'entrée représentent dix cartes sous format raster pour les simulations sans forêt et quinze cartes pour les simulations avec forêt. Toutes les cartes doivent avoir la même extension et résolution.

Les cartes nécessaires pour les simulations sans forêt sont:

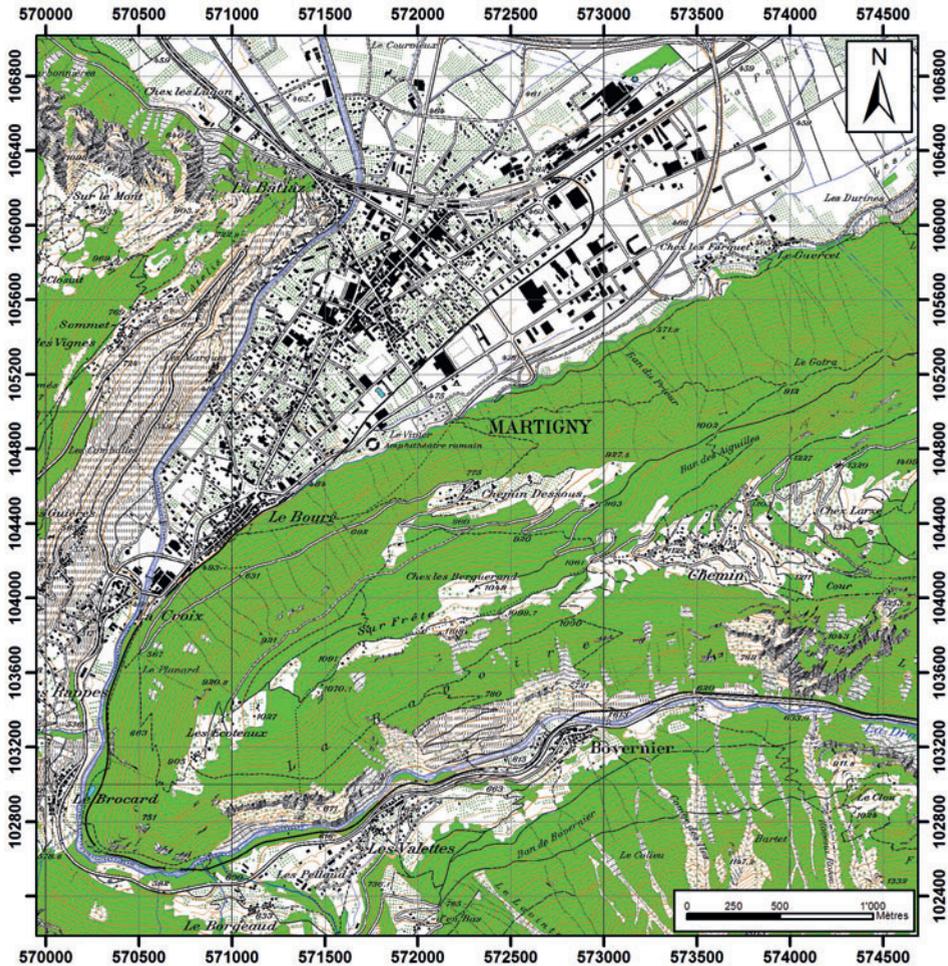


Figure 1.–Situation de la zone d'étude, Mont Chemin (Valais).

- Un modèle numérique de terrain.
 - La masse volumique des blocs [kg/m^3].
 - Trois cartes représentant les axes principaux du bloc de départ (d_1 , d_2 , d_3) [m].
 - La forme du bloc de départ (pas de forme définie, rectangulaire, ellipsoïde, sphérique, disque).
 - Trois cartes définissant la rugosité de la surface pour 10%, 20% et 70% de la surface (rg_{10} , rg_{20} , rg_{70}).
 - Le type de sol, relié directement au coefficient R_n (coefficient de restitution normal).
- Les cartes nécessaires pour la simulation avec forêt sont:
- Le nombre de troncs par hectare.
 - Le diamètre moyen des troncs d'arbre [cm].

- L'écart standard du diamètre moyen [cm].
- Le peuplement dominant au sein de chaque cellule.
- Le pourcentage moyen de conifères.

Si l'utilisateur a la possibilité de traiter des modèles de surface normalisés, il est également possible d'entrer la position exacte de chaque arbre (fichier contenant les coordonnées en x et y).

Données à disposition

Les simulations ont été effectuées sur la base d'un modèle numérique de terrain MNT-MO à 2 m relevé par laser. Aucun traitement de lissage ou de suppression d'artefacts n'a été réalisé.

Les zones de départ des blocs ont été déterminées d'après la carte des pentes supérieures à 45° (figure 2).

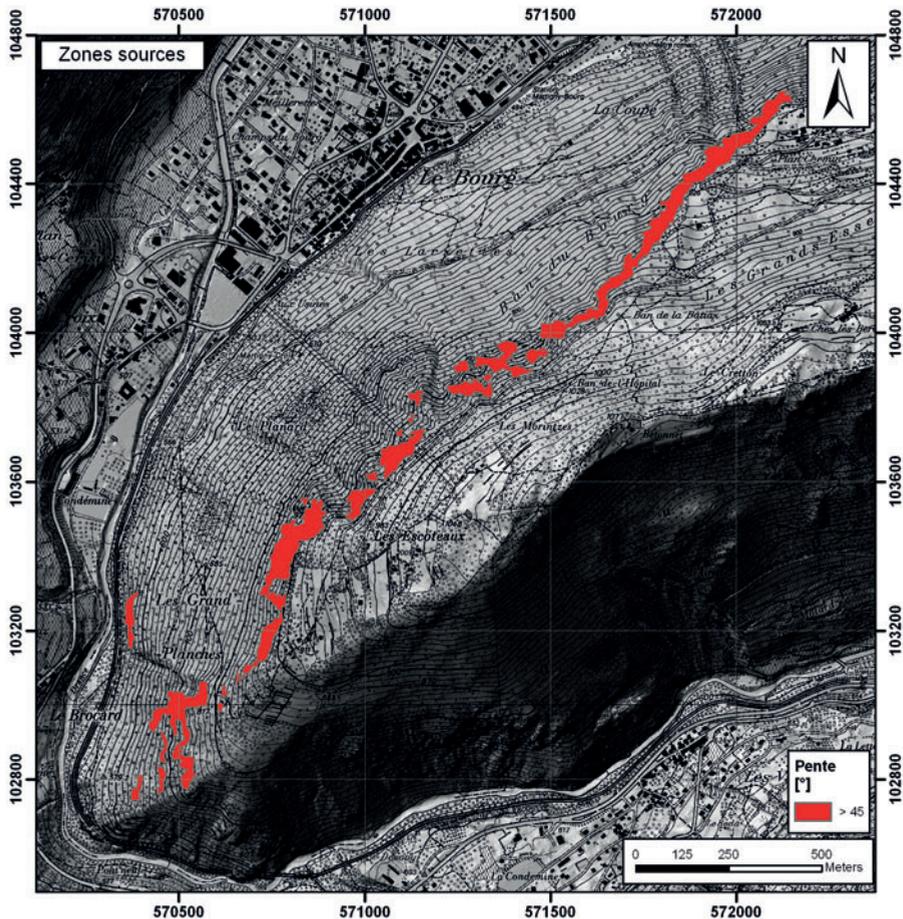


Figure 2.—Carte des zones de départ des blocs, pentes supérieures à 45°.

SITE DU MONT CHEMIN

Simplification du modèle

Pour le site du Mont Chemin, les simplifications suivantes ont été faites, en se basant sur les observations de terrain:

- L'aléa chute de pierre/bloc est diffus et se situe en sommet de versant. Sur l'ensemble du versant, des blocs d'environ 1 m³ sont susceptibles d'être mobilisés et remobilisés dans les pentes supérieures à 45°.

- La dangerosité (soit la probabilité de mobilisation) est élevée et diffuse sur l'ensemble de la zone source.

- Les caractéristiques des sols sont uniformes sur l'ensemble du versant (pas d'adaptation des paramètres de sol dans les couloirs déboisés).

Paramètres d'entrée des programmes

Les paramètres d'entrée sont homogénéisés entre les deux programmes utilisés. Deux types de sols recouvrent le site du Mont Chemin: un versant d'éboulis couvert par une forêt moyennement dense (400 tiges/ha) avec un Rn de 0.38 et un sol alluvial avec un Rn de 0.28 pour la plaine. Un Rt de 0.7 a été introduit directement sur PiR3D et indirectement sur Rockyfor3D via les valeurs de rugosité. Ces valeurs proviennent de la littérature et correspondent à un versant boisé à 45° (WU 1985).

Les blocs de départ ont un volume de 1 m³ et une masse de 2'700 kg. Les vitesses initiales des blocs sont $V_x = V_y = 0.5$ m/s et $V_z = -0.5$ m/s.

Tableau 1.–Tableau des paramètres d'entrée pour Rockyfor 3D.

Bloc	Forme du bloc	pas de forme prédéfinie		
	Diamètre (m)	d1	1	
		d2	1	
		d3	1	
Densité du bloc (kg/m ³)	2700			
Sol	Type de sol	Eboulis	Alluvions	
	Rn	0.38	0.28	
	Rugosité (m)	rg10%	0.5	0.1
		rg20%	0.2	0.05
		rg70%	0.1	0.03
Arbre	Nombre d'arbres par hectare	400		
	Type d'arbre	feuillu		
	% de conifères	20		
	Diamètre moyen du tronc (cm)	30		
	Variation standard du diamètre moyen (cm)	10		

En raison des caractéristiques de chaque programme, les zones sources sont différentes: une ligne continue en sommet de versant a été introduite sur PiR3D, 14'000 blocs simulés; une bande diffuse de pixels est créée sur Rockyfor3D, 63'129 blocs simulés (correspond à 1 bloc par pixel).

Les simulations sur PiR3D ont été effectuées en mode déterministe.

Les paramètres d'entrée supplémentaires, nécessaires pour le programme Rockyfor 3D, sont présentés dans le tableau 1.

RÉSULTATS

Résultats des trajectographies

Cartes des propagations

Les limites de propagations sont données par PiR3D (figure 3), Rockyfor3D sans forêt (figure 4) et avec forêt (figure 5).

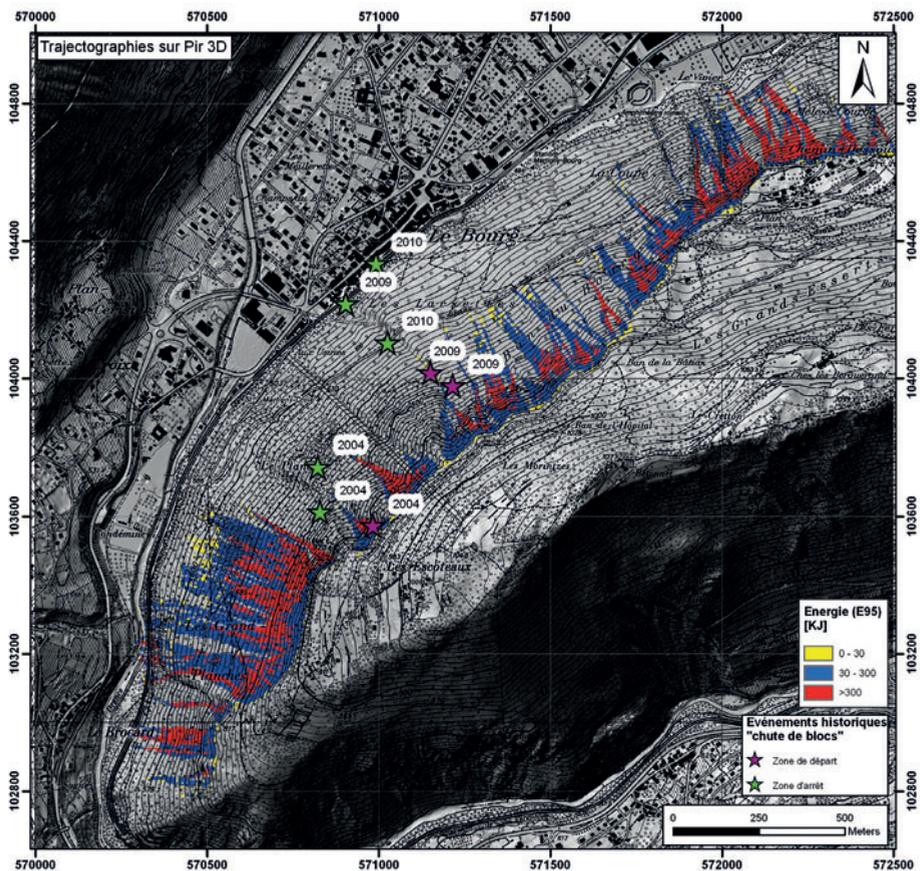


Figure 3.—Résultats des simulations trajectographiques sur PiR3D.

L'étude comparative est faite entre PiR3D v.3 et Rockyfor3D v.3 sans forêt où les paramètres d'entrée au niveau des caractéristiques des blocs de départ et des sols sont les mêmes. Le Rt introduit correspondant à un versant boisé, les couloirs ne sont ainsi pas détaillés et ont un «effet forêt» uniforme.

Les trajectographies atteignent le pied de versant pour Rockyfor3D v.3 sans forêt, en prenant préférentiellement les couloirs (effet topo). En général, les blocs n'atteignent pas le fond des couloirs avec PiR3D. Les différences entre ces deux cartes de propagations viennent des zones sources et du nombre de blocs dans la zone de départ: plus il y a de blocs simulés, plus la distance de propagation s'allonge.

Pour les simulations sur Rockyfor3D v.3 avec forêt, aucun bloc n'atteint le pied de versant. Les couloirs sont masqués par une simulation uniforme sur tout le versant.

Cartes des énergies

Les cartes des énergies sont présentées selon la classification: 0-30 kJ, 30-300 kJ et >300 kJ (figures 3, 4 et 5).

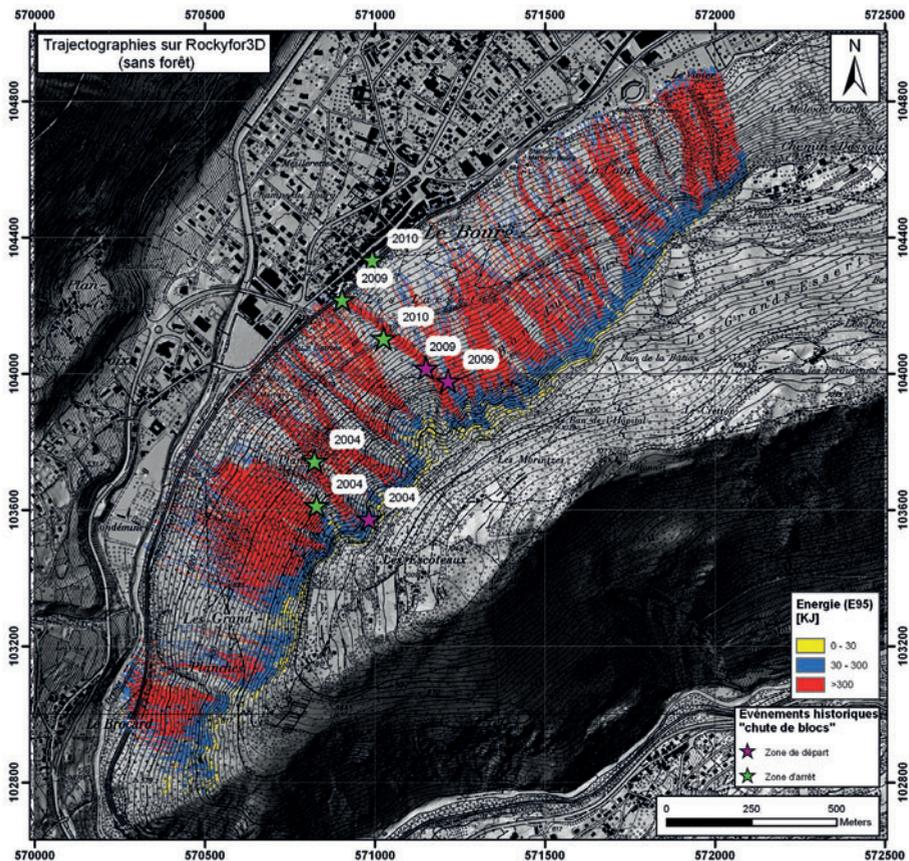


Figure 4.–Résultats des simulations trajectographiques sur Rockyfor3D, sans la forêt.

Rockyfor3D v.3 montre des énergies supérieures à 300 kJ jusqu'en pied de versant.

Rockyfor3D v.3 et PiR3D ont une zone d'énergie élevée similaire. La zone d'énergie moyenne est mieux marquée sur PiR3D.

Limites des programmes

PiR3D est limité par:

- Une faible capacité du programme à gérer un nombre de simulations élevé (> 100'000 blocs) en fonction de la précision du MNT.
- Une zone source linéaire
- Une distance de propagation qui ne dépend pas de la masse du bloc.

Avec ses entrées sous format raster, Rockyfor3D v.3 permet d'intégrer très précisément les données de terrain. Les particularités des falaises, du sol, des zones sources et de la forêt peuvent être détaillées dans chaque pixel. Cependant, plus il y a de détails, plus la

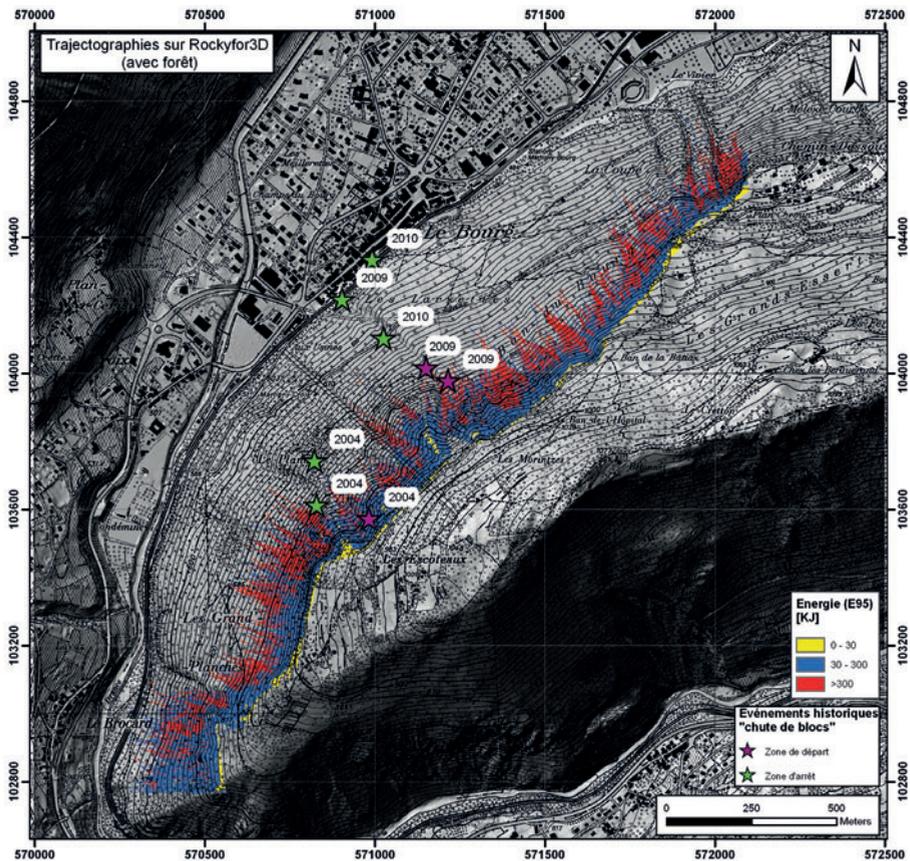


Figure 5.–Résultats des simulations trajectographiques sur Rockyfor3D, avec la forêt.

préparation des données et le temps de calcul seront allongés. 24 heures ont été nécessaires pour les simulations avec forêt sur une zone de 2.5 km², pour une simulation d'un bloc par pixel.

Chaque programme possède ses algorithmes, ce qui explique les différences de résultat. Ainsi se pose la problématique du programme à utiliser et de la gestion des résultats.

Détermination des périmètres de danger

Les trois cartes (PiR3D, Rockyfor3D avec et sans forêt) sont combinées pour déterminer les périmètres de danger (figure 6). Elles seront calibrées d'après les événements historiques.

Les blocs tombés en 2004 sont partis du sommet du versant et se sont arrêtés à une altitude de 700 et 800 m. Les événements entre 2009 et 2011 ont atteint le pied du versant. Leur zone de départ est supposée se situer dans le versant à quelques mètres à l'amont des habitations. La remobilisation est probablement à l'origine de ces événements. Leur énergie est située entre 0 et 30 kJ.

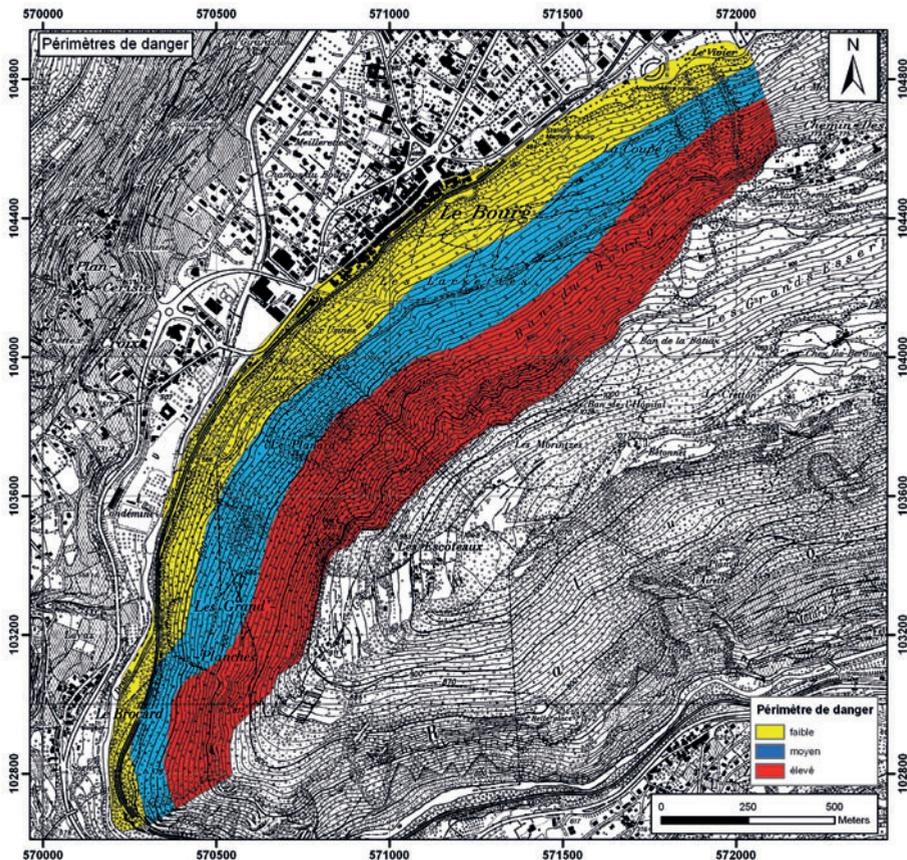


Figure 6.–Carte de danger provisoire.

La délimitation des degrés de danger a été établie comme suit:

- La limite aval du danger élevé est donnée par les énergies supérieures à 300 kJ fournies par les trajectographies Rockyfor3D avec forêt et englobe les événements historiques de 2004, ainsi que les zone de départ des événements de 2009.

- la limite aval du danger faible est donnée par la limite des propagations fournies par les trajectographies Rockyfor3D sans forêt

- La limite aval du danger moyen a est placée arbitrairement à mi-distance de la limite aval de danger élevé et de la limite amont de danger faible.

La carte de danger de la figure 6 est une carte provisoire. Les périmètres de danger sont tracés en tenant compte essentiellement des propagations, des énergies et des événements. Quant aux critères Matterock, la probabilité d'atteinte est prise en compte de manière qualitative à travers la carte des densités de passage. Les énergies sont fournies par les simulations. Quant à la probabilité de mobilisation, elle est ici considérée comme «élevée» sur tout le versant. Cependant pour d'autres sites, elle devra comprendre les aléas ponctuels et diffus, avec leurs différentes dangersités, ce qui implique plusieurs simulations et combinaison des résultats.

DISCUSSION

Limites de la carte de danger

Pour le site du Mont Chemin, la carte présentée est optimiste. Les simulations effectuées ne comprennent pas les couloirs. Les événements de 2009 montrent l'importance de ceux-ci: les blocs les empruntent jusqu'au pied du versant. Ainsi, une simulation plus complexe avec modélisation des couloirs devra être effectuée pour obtenir la carte de danger définitive.

En passant aux simulations 3D, les limites des zones de danger ne peuvent être établies d'après la méthodologie Matterock (limites de propagation 10^{-2} , 10^{-4} et 10^{-6}). Les probabilités d'atteinte ne sont pas encore introduites dans les programmes. Il devient plus difficile avec le passage en 3D d'effectuer un traitement statistiques lorsque les simulations sont faites avec plusieurs zones sources et sur des pentes complexes (non-homogènes). Ainsi les périmètres de danger sont tracés en accord avec les informations à dispositions: cartes des énergies, cartes des propagations, événements historiques et énergie estimée de ces événements, densité de passage fournis par la 3D et données de terrain.

Ainsi, une part subjective importante est laissée au géologue, qui compile les informations et décide des limites en accord avec les résultats informatiques et sa vision du terrain.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

La trajectographie 3D présente l'avantage d'avoir une vue élargie des propagations et des énergies. Avec les progrès dans la précision des MNT et la possibilité d'intégrer la forêt et les observations de terrain, les simulations sont de plus en plus fiables.

Pour obtenir une carte de danger normée, comme l'exige la méthodologie «Matterock»

(ROUILLER *et al.* 1998), il est nécessaire de redéfinir les critères d'établissement des périmètres de danger en tenant compte des changements induits par le passage du 2D au 3D.

Une amélioration de la précision des modèles, l'intégration de géostatistiques 3D et de nouveaux critères pour créer les périmètres de danger sont nécessaires pour diminuer la part qualitative de l'interprétation.

RÉFÉRENCES

- COTTAZ Y., BARNICHON J. D., BADERTSCHER N. & GAINON F., 2010. PiR3D[®], an effective and user-friendly 3D rockfall simulation software: formulation and case-study application, Rock Slope Stability Symposium, Paris.
- DORREN L., 2009. Rockyfor3D revealed: description of the complete 3D rockfall model. EcorisQ.
- ROUILLER J.-D., JABOYEDOFF M., MARRO C., PHILIPPOSIAN F. & MAMIN M., 1998. Pentès instables dans le Pennique valaisan, MATTEROCK, une méthodologie d'auscultation des falaises et de détection des éboulements majeurs potentiels. Rapport final PNR 31. Zürich, vdf. 239 pp.
- WU S.-S., 1985. Rockfall evaluation by computer simulation, Transportation Research Record, Vol. 1301, pp 1-5.