Internationales Symposion
INTERPRAEVENT 1996 – GARMISCH-PARTENKIRCHEN
Tagungspublikation, Band 3, Seite 215 – 223

Etude du rôle de protection des forêts contre les chutes de rochers simulation par modèle stochastique

Study of the protection role of forests against rockfalls Simulations with stochastic models

C. CHAUVIN - J.P. RENAUD

Résumé

Le rôle de frein joué par la forêt contre les chutes de rochers, bien qu'évident, est difficile à quantifier compte tenu de l'aspect particulièrement aléatoire des phénomènes en jeu : départ de blocs, rebonds, chocs contre les arbres. S'il ne permet pas toujours d'éviter les ouvrages de protection, il permet au moins d'en limiter les dimensions et le coût.

L'étude présentée utilise une méthode de simulation stochastique déjà utilisée en expertise hors forêt : sur la base d'un modèle mécanique déterministe, une centaine de chutes de blocs sont simulées pour chaque zone à expertiser, en faisant varier aléatoirement les paramètres de chaque rebond à l'intérieur d'une certaine fourchette, représentant l'irrégularité du sol.

L'intégration éventuelle de la forêt était faite jusqu'ici par l'addition d'un simple coefficient de frottement supplémentaire.Une prise en compte plus fine est passée par des expérimentations de terrain sur les mécanismes de base, par une meilleure description de la forêt par pas de 50 m sur la base d'une typologie adaptée, et par une évaluation des probabilités de chocs selon la structure du peuplement.

Les simulations réalisées à partir de ce modèle peuplement ont permis de démontrer l'effet essentiel de la forêt sur les distances d'arrêt et sur la hauteur des rebonds, dans le cas particulier d'un versant protégeant la route d'accès à Val d'Isère : en

cas de disparition de la forêt, la proportion de blocs atteignant la route passe de 18 % à 71 %.

L'étape suivante consistera en un modèle déterministe au niveau arbre, appliqué à des peuplements tests typiques cartographiés arbre par arbre où l'on fera circuler un certain nombre de blocs fictifs. Ce modèle fin, permettant de valider statistiquement le modèle peuplement et de l'améliorer, permettra d'améliorer également la typologie des peuplements en faisant ressortir les paramètres de peuplements les plus efficaces contre les chutes de blocs.

Abstract

The braking role played by forests against rockfalls, although obvious, is difficult to quantify due to the randomness of the phenomenons invoved : blocks start, impacts.on trees, branches and ground. These effects may not be sufficient to spare specific protection works (nets, dams), but permits at least to limit the dimensions and the costs of these works.

The present study uses a stochastic simulation method, already used by experts out of the forest : on the basis of a deterministic mechanical model, 100 rockfalls are simulated for each zone to be studied, with random variations of the parameters for each bounce, inside a definite range of values, to represent ground irregularities.

Up till now the rare integrations of the forest have been made merely by an additional friction coefficient. For a better representation of the phenomenons, we made field experiments on the basic mechanisms, and used an adapted stand structure typology for a precise description of the forest by 50 m steps. For each structure type, was assessed a probability of impact against a tree.

The simulations made with this "stand model" showed the important effect of the forest on stopping distances and bounce height of the blocs : in the case study of a forest protecting the road to the ski station Val d'Isère, the rate of simulated blocks reaching the road raised from 18% to 71 % after a fictive forest removal.

The next step will consist in a deterministic model at the tree level, applied to typical stands mapped tree by tree, where fictive blocks will be dropped. This tree model

will permit to validate and improve the assessments of the stand model, and to improve the stand typology by enhancing the most efficient stand parameters against rockfalls.

1 - Introduction

Le rôle de frein joué par la forêt contre les chutes de rochers est évident, mais difficile à quantifier compte tenu de l'aspect particulièrement aléatoire des phénomènes en jeu : départ de blocs, rebonds, chocs contre les arbres. Une certaine quantification est cependant susceptible d'amener des économies importantes :

- dans le dimensionnement des ouvrages passifs de protection, tenant compte du rôle de protection de la forêt existante

- dans la définition de règles de gestion économiquement optimales pour maintenir ou améliorer ce rôle : elle doit permettre notamment de mieux déterminer les zones forestières sensibles, justiciable d'aides spécifiques à l'entretien dans le cadre d'une gestion globale des risques.

2 - Etat de l'art

Le rôle de la forêt contre les chutes de blocs est typiquement passif, par dissipation d'énergie à l'occasion de chocs plus ou moins destructifs.

- A l'échelle du matériau bois, les essais réalisés en laboratoire sur éprouvette ont permis de déterminer que, pour une essence donnée, l'énergie de cisaillement nécessaire à la rupture de l'éprouvette était proportionnel à la section de bois cassé.

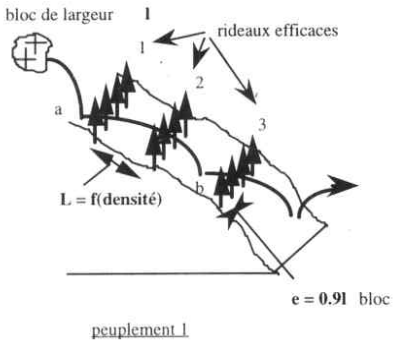
- Des essais réalisées in situ sur le hêtre avec une boule de fonte ont abouti au même type de loi, mais avec des coefficients de 100 à 1000 fois supérieurs (COUVREUR - 1982). Il apparaît donc que l'arbre sur pied a une capacité de dissipation énergétique bien supérieure à celle d'un simple tronc, notamment par son houppier et ses racines.

3 - Matériel et méthodes

Les travaux présentés, réalisés en 1994, avaient pour objet de réaliser une première intégration de paramètres forestiers dans un logiciel de trajectographie, développé depuis plusieurs années par une société d'expertise en géotechnie (A.D.R.G.T.).

La perte d'énergie due à la végétation se calcule en assimilant le peuplement à une succession de "rideaux efficaces d'arbres". L'espacement des arbres sur un même rideau efficace est choisi en fonction de la taille du bloc au départ ; l'espacement des rideaux entre eux se déduit alors de la densité du peuplement en place.

Les coefficients d'absorption d'énergie sont fixés aléatoirement dans une fourchette définie d'après les caractéristiques (peuplements et sol) levées sur le terrain.



Entre l'impact a et l'impact b, la perte d'énergie due à la forêt est désignée par Eab et comprise entre :

$$(ab/L)*e_{1r} - \varepsilon < Eab < (ab/L)*e_{1r} + \varepsilon$$

ab = distance entre a et b
L = distance entre 2 rideaux
e1r = énergie dissipée par le passage d'un rideau pour le peuplement 1, elle est fonction du diamètre des arbres constituant le rideau, de l'essence elle est approchée par l'utilisation des données sur éprouvette et des résultats expérimentaux de COUVREUR essentiellement

Eab est choisie aléatoirement entre ces deux valeurs

Figure n°1 - Principe de prise en compte de la végétation par le modèle

Une typologie des principaux peuplements résineux de montagne, réalisée par le Cemagref, a été reprise et simplifiée pour les besoins de l'étude.

Cinq groupes forestiers ont ainsi pu être définis sur la base de critères dendrométriques objectifs et quantifiables (surface terrière, densité, répartition des différentes catégories de diamètre) et intégrés dans le logiciel de simulation trajectographique.

Cette nouvelle version du logiciel a donc constitué la base des simulations réalisées sur le site pilote choisi.

4 - Résultats et discussion

Cinq profils distincts représentatifs ont pu être testés sur le site de la Raie (commune de Ste-Foy-Tarentaise, Savoie) dans des conditions topographiques et sylvicoles variées.

Pour chacun de ces profils, une description fine et systématique des principaux paramètres terrain (pente, sol, végétation...) a été réalisée sur un couloir d'une largeur moyenne de 50 m, depuis la zone de départ prévisible (zone de falaises instables) jusqu'aux enjeux menacés (CD 902 de Bourg-St-Maurice à Tignes - Val d'Isère).

Un arrêt et une mesure tous les 25 m pour la pente, tous les 50 m pour les caractéristiques des peuplements permettent une prise en compte des changements tout au long du profil.

Les simulations trajectographiques réalisées fournissent pour chacun des profils étudiés et pour les 100 lancers théoriques testés, la répartition des blocs à l'arrêt, en distance et en altitude, leur poids et les hauteurs de rebonds successifs calculés sur le profil.

Les résultats obtenus mettent en évidence une forte efficacité du couvert forestier dans les conditions du site pilote (forêt irrégulière claire mais complète) et sous réserve d'une validation ultérieure des paramètres introduits dans le logiciel.

On observe pour chacune des séries réalisées, une forte réduction du pourcentage de blocs arrivant à la route entre le profil nu sans végétation et le versant boisé dans son état actuel.

Il apparaît de plus une forte diminution de la hauteur des rebonds, dont le maximum passe, pour le profil représenté ci-dessus, de 12 m pour le versant déboisé à 2 m pour le versant boisé, permettant ainsi d'envisager des mesures complémentaires ponctuelles de génie civil (de type filets pare-pierres).

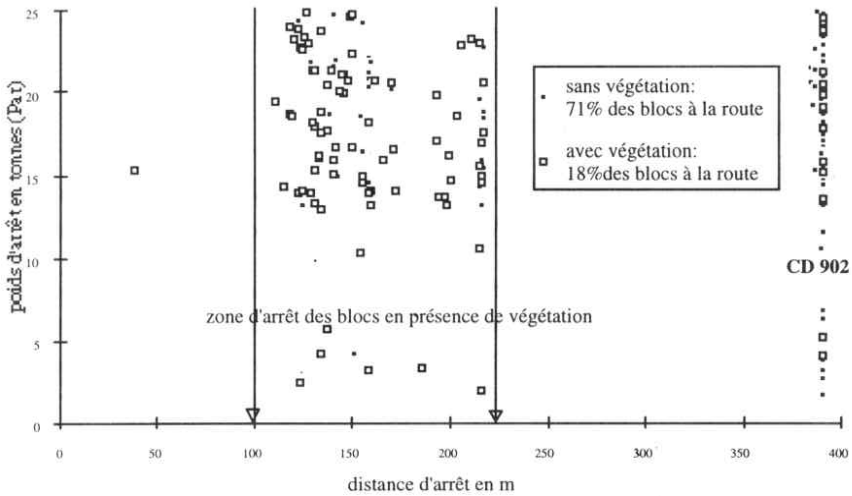


Figure n° 2 - Profil 65 : Résultats trajectographiques - rôle de la végétation en place

Enfin, nous avons réalisé, toujours pour le même profil, des simulations modifiant les paramètres des peuplements dans un sens négatif (disparition ponctuelle du couvert forestier sur une partie du profil) ou positif (augmentation de la densité ou capitalisation sur la partie haute du profil).

Les résultats là encore, et sous les mêmes réserves de validation expérimentale, sont très explicites. Il apparaît en effet que les 200 premiers mètres parcourus en forêt, dans les conditions topographiques étudiées (falaises de taille réduite, énergie à l'entrée du peuplement relativement modérée) sont décisifs, soit parce qu'un peuplement dense et complet sera en mesure de maîtriser très rapidement l'aléa (dans les 100 premiers mètres même dans le cas des types les plus denses), soit au contraire parce qu'une disparition, accidentelle ou non, du boisement dans cette même zone, va entraîner une aggravation considérable du phénomène et augmenter sensiblement le dénivelé de parcours en forêt nécessaire pour arrêter le bloc ainsi que le pourcentage de rochers arrivant à la route. On voit donc bien là un des enseignements majeurs que pourrait retirer le gestionnaire de ce type d'étude, lui permettant de mieux connaître le rôle actuel de sa forêt et de mesurer plus objectivement les conséquences possibles d'une évolution sensible de sa structure.

5 - Développements envisagés

Les résultats de l'étude exploratoire restent liés à un certain nombre d'hypothèses et de simplifications : l'artifice de calcul du "rideau efficace", et l'évaluation de l'énergie dissipée par ces rideaux, nécessitent des validations terrain par lâchers de blocs dans des peuplements réels. La prise en compte du freinage par les branches, et de l'aspect aléatoire des rencontres arbre-blocs, appellent également des études complémentaires appuyées sur des mesures in situ.

Ces opérations de terrain sont envisagées à deux échelles:

a) Echelle "peuplement", pour une validation globale, statistique, du modèle et de son paramétrage sur un site particulier : comparaison de la distribution des distances d'arrêt simulées, par rapport à la distribution des distances d'arrêt mesurées, pour un nombre suffisant de blocs.

b) Echelle "arbre", pour une modélisation fine, plus déterministe du phénomène, au niveau des processus de base : chocs et rebonds sur les troncs, freinage par les branches. La validation expérimentale globale, qui n'est raisonnablement envisageable que sur un site, est en effet évidemment insuffisante pour la validation de l'ensemble de la méthode ; le passage par la modélisation est donc indispensable.

L'objectif final reste cependant bien, d'arriver à un modèle pratique "peuplement ", paramétrable de façon simple et reproductible, et compatible avec la méthode de simulation stochastique de l' A.D.R.G.T. Le modèle scientifique "arbre" est pour cela un intermédiaire, permettant des simulations déterministes dont on étudiera, sur peuplements fictifs, le comportement et la sensibilité par rapport à des paramètres simples de peuplements (densité, hétérogénéité, niveau des branches, etc.).

En pratique, les deux types de mesure, correspondant aux deux niveaux d'approche, seront menés conjointement sur le même site. Une trentaine de blocs seront lâchés dans la pente, et filmés. Pour chaque bloc, les impacts sur le sol et sur les arbres seront repérés et cartographiés, ainsi que le point d'arrêt. Il sera alors possible, par recoupements, de reconstituer une partie de la trajectoire de ces blocs dans l'espace et dans le temps, ce qui permettra le paramétrage du modèle dynamique fin "arbre".

L'ensemble des points d'arrêt fournira par ailleurs une validation globale, pour le site considéré, du modèle peuplement (initial, et amélioré à partir du modèle arbre).

6 - Conclusion : Intérêt méthodologique

L'intérêt théorique de la méthode développée par l'A.D.R.G.T. pour l'étude des chutes de blocs réside déjà, hors forêt, dans son principe de simulation stochastique, autorisé la puissance des ordinateurs actuels : des tirages de variables aléatoires permettent de rendre compte à une échelle globale, en fonction de critères mesurable ou expertisable, de phénomènes complexes au niveau fin. On dispose ainsi d'un véritable outil d'aide à la décision face au risque, fournissant des probabilité au lieu de travailler en tout ou rien, et permettant d'intégrer de façon interactive les connaissances de l'expert en travaillant à son échelle.

L'étude du rôle de la forêt, avec l'aspect pseudo-aléatoire des rencontre arbres-blocs, s'intègre très naturellement dans cette méthodologie, ce qui en confirme la puissance et la généralité.

BIBLIOGRAPHIE

AZIMI Ch., DESVAREUX P., GIRAUD A. , COCHET M. , 1982 - Méthode de calcul et de dynamique des chutes de blocs. Application à la montagne de la Pale. Bulletin de liaison des Ponts et Chaussées- n°122 pp 93-102

BRGM, 1991 - Enquête menée sur le CD 902 : évaluation des risques et parades.

BERGER F., RENAUD JP., 1994 - Stabilité et fonction de protection des forêts de montagne dans les Alpes du Nord. L'exemple de la forêt domaniale de Rioupéroux. 1ère partie : caractérisation et cartographie des peuplements forestiers à fonction de protection par l'utilisation du système d'information géographique Arc-Info et la réalisation d'un modèle numérique de terrain. Revue forestière française. Vol. XLVI, n° 4. pp. 360-374.

CATTIAU V.,1994- Interactions Forêt/chutes de blocs : Etude du versant de la Raie - Sainte Foy Tarentaise (Savoie). ENGREF - CEMAGREF groupement de Grenoble division PE . 43 p.

CHAUVIN C., RENAUD JP., RUPE C., LECLERC D., 1994 - Stabilité et gestion des forêts de protection. Office national des forêts. Bulletin technique n° 27 Fontainebleau. pp.37-51.

COUVREUR S., 1982 - Les forêts de protection contre les risques naturels. Mémoire ENITEF Nogent/Vernisson. 86 p.

JAHN J., 1988 - Entwaldung und steinschlag. International symposium WSL Birmensdorf. pp. 185 à 198.

MARI E., 1994 - Prise en compte de la multifonctionnalité des forêts de montagne dans le cadre d'un aménagement forestier. Le site de Sainte-Foy-Tarentaise. ENGREF - CEMAGREF groupement de Grenoble division PE. 58 p.RENAUD JP. et al, 1994 - Les forêts résineuses à fonction de protection dans les Alpes du Nord françaises. Typologie générale des structures et méthode descriptive. Analyse de la stabilité des peuplements et interventions sylvicoles. CEMAGREF groupement de Grenoble division PE. 157 p.

RUPE C., 1991 - Etude de Saint-Martin-le-Vinoux : protection contre les chutes de blocs. CEMAGREF groupement de Grenoble division PE. 36 p.

Christophe CHAUVIN et Jean-Pierre RENAUD

Cemagref - 2, rue de la papeterie, BP 76 - 38402 St Martin d'Hères - FRANCE