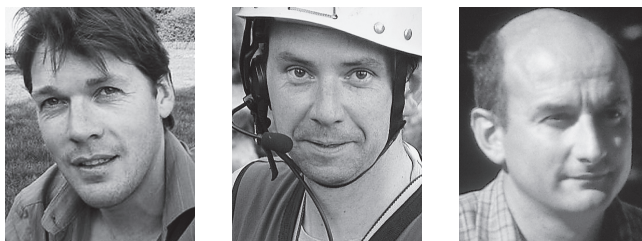


La forêt est un filet de protection naturel contre les chutes de pierres



Par Luuk Dorren, Frédéric Berger et Roland Métral*

Les chutes de pierres sont un des processus naturels d'évolution des versants de montagne. La mise en mouvement spontanée de blocs rocheux ainsi que leur vitesse de propagation mettent en danger des vies humaines, des voies de communications et des habitations. Les forêts de montagne peuvent offrir sur le long terme une protection efficace. Mais quelles sont les caractéristiques d'un peuplement forestier offrant une protection optimale?

À cet effet, le Groupe Suisse de Sylviculture de Montagne (GSM) a été à plusieurs reprises en contact avec le Cemagref de Grenoble et plus particulièrement avec sa section *Ecosystèmes et paysages montagnards*. Après la publication d'un très intéressant article scientifique (Dorren et al. 2005) sur la réaction d'un massif forestier envers les chutes de pierres, le GSM sollicita ses auteurs quant à une version destinée aux gestionnaires de forêts de protection. L'article que voici est né de cette collaboration.

Qu'est-ce que la chute de pierres?

Dans le cadre de cet article, nous définissons la chute de pierres comme étant la mobilisation et la propagation de blocs rocheux n'excédant pas un volume unitaire de 5 m³.

Une forêt de protection gérée de manière adéquate est en mesure, le cas échéant, d'offrir un niveau de protection

Fig. 1. Sur le site expérimental de Vaujany (Isère, France), le bloc 33 a été arrêté par un petit arbre et cela après avoir été freiné et dévié par d'autres arbres.



efficace. Elle représente alors une alternative écologique aux techniques de génie civil et ce, à moindre coût (Schwitter et al. 1998). Pour cela, il est nécessaire de comprendre et de caractériser les interactions entre les peuplements forestiers et les chutes de pierres. L'étude de ces interactions est l'objectif principal de l'équipe de recherche du Cemagref.

À partir de cette étude, et en fonction de la dimension réelle des pierres pouvant se mobiliser et se propager à l'intérieur d'un peuplement, le Cemagref a développé des méthodes qui permettent aux gestionnaires de quantifier le rôle de protection actuel et futur de ce peuplement, et de déterminer sa structure optimale et pérenne envers les chutes de pierres.

* Luuk Dorren et Frédéric Berger sont chercheurs au Cemagref de Grenoble (France, www.cemagref.fr). Roland Métral, ingénieur forestier au service valaisan des forêts et du paysage, arrondissement 8, Martigny, est président du Groupe suisse de sylviculture de montagne.

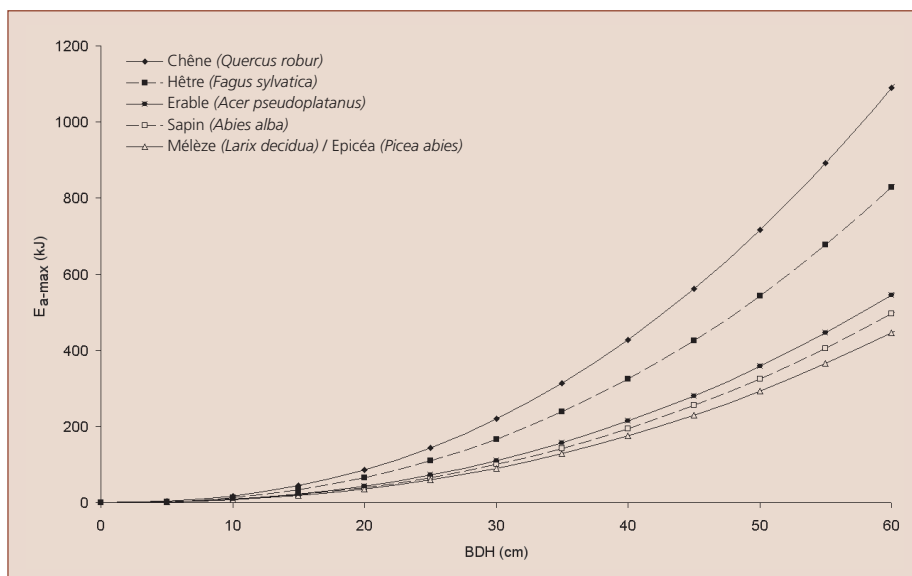


Fig. 2. Relation pour différentes essences entre le diamètre (DHP) et l'énergie maximale pouvant être dissipée (E_{d-max}) lors de l'impact d'un bloc rocheux sur un arbre.

Chutes de pierres et forêts de protection

Selon les travaux de Gsteiger (1993), si la distance moyenne que, dans un peuplement forestier, une pierre parcourt avant de heurter un arbre dépasse 40 mètres, la forêt ne sera plus capable de freiner efficacement cette pierre. Sur une telle distance, la pierre est en mesure d'acquérir la vitesse nécessaire pour développer l'énergie suffisante pour casser des arbres (Dorren et al. 2005). La capacité des forêts de protection vis-à-vis des chutes de pierres est déterminée par la taille du projectile, son énergie, le diamètre de l'arbre moyen mesuré à hauteur de poitrine (DHP), la densité du peuplement (nombre d'arbres à l'hectare), et la surface terrière, de même que les espèces d'arbres présentes.

Ainsi, dans le domaine des forêts à fonction de protection face à des chutes de pierres, les questions les plus importantes sont donc: quel est l'arbre (essence, diamètre) qui peut dissiper le maximum d'énergie tout en ayant une forte capacité à guérir de ses blessures? Quelle est la densité minimale de tiges à l'hectare et avec quelle distribution de diamètre? Quelles sont la composition en essences, la densité et la répartition des diamètres compatibles avec une gestion durable de la protection offerte par un peuplement forestier? Sur ce point, on notera qu'un peuplement stable ne permet pas, à long terme, de maintenir un nombre élevé d'arbres avec un fort DHP.

Afin d'apporter des réponses à ces questions, le Cemagref a décidé de réaliser des expériences grandeur nature de chutes de pierres et ce sur des sites boisés

et non boisés ayant la même pente (voir Fig. 1). Lors de ces expériences, un suivi cinématographique (avec des caméras numériques à prises de vues rapides) de la trajectoire de blocs rocheux est réalisé. Les premières campagnes de mesures assurant une analyse statistique fiable ont été effectuées dans le cadre du projet européen RockFor (2001-2004).

Expérimentations grandeur nature de chutes de pierres

Le secteur d'étude est situé dans la forêt communale de Vaujany, sur une pente moyenne de 38°. Lors des expérimentations, des blocs sphériques ayant un diamètre moyen de 0,95 m ont été utilisés. Les lâchers ont été réalisés sur les sites au moyen d'une pelle mécanique. Le site non

boisé est un couloir d'avalanches. Après chaque lâcher, un relevé cartographique de tous les points d'impact au sol et sur les arbres a été accompli. La trajectoire de chaque bloc a été répertoriée sur une carte de son point de départ à son point d'arrêt. Grâce aux enregistrements par vidéo, la trajectoire des blocs, leur vitesse et hauteur de passage ont été analysées, ce qui a notamment permis d'étudier la dissipation d'énergie (bloc ralenti, freiné ou arrêté) occasionnée par les impacts sur les arbres ainsi que les conséquences de ceux-ci sur les hauteurs de passage.

Selon l'analyse des impacts sur les sapins, il ressort qu'il existe une relation exponentielle entre le DHP et l'énergie maximale qui est dissipée lors d'un impact. Il fut ainsi possible d'extrapoler cette relation à d'autres espèces d'arbres (voir Fig. 2). Pour de plus amples informations, nous invitons le lecteur à consulter l'article de Dorren et al. (2005). La hauteur moyenne de rebond observée sur le site boisé est de 2 m. Cela est surtout dû à la pente du site qui est de 38° et au fait que cette pente est relativement uniforme (aucune barre rocheuse ou d'autres irrégularités ne sont présentes). Le tableau 1 présente un résumé des résultats obtenus à partir de l'analyse des données de ces expérimentations grandeur nature. Celles-ci ont aussi clairement montré que les petits arbres (DHP < 12,5 cm) peuvent arrêter des blocs de l'ordre du m³ si une grande partie de leur vitesse et de leur énergie a été dissipée avant, lors d'impacts avec des arbres de plus fort diamètre (cf., Fig. 1), d'où l'importance de l'effet «bourrage» entre les arbres de gros diamètre.

Grâce aux résultats de ces expériences, le Cemagref a pu développer et valider ses modèles de simulations informatiques. Ceux-ci reproduisent bien l'effet protecteur d'un arbre, d'un peuplement ou d'une

Tab. 1: Résumé des principaux résultats expérimentaux sur le site de Vaujany

| | Secteur Non boisé (n=100) | Secteur boisé (n=102) |
|---|---------------------------|-----------------------|
| Vitesse maximale moyenne (m s ⁻¹) | 15.4 | 11.7 |
| Vitesse maximale (m s ⁻¹) | 30.6 | 24.2 |
| Pourcentage des blocs arrêtés après 223,5 m (%) | 5 | 66 |
| Pourcentage des blocs arrêtés sur la piste forestière (%) | 15 | 13 |
| Pourcentage des blocs traversée l'écran forestier (%) | n.a. | 34 |
| Hauteur moyenne de rebond (m) | 1.5 | 1 |
| Hauteur maximale de rebond (m) | 8 | 2 |
| Nombre de blocs nécessaire pour développer un couloir (-) | n.a. | 72 |

forêt constituée d'une mosaïque de peuplements. Le Cemagref est aujourd'hui capable de simuler la trajectoire de blocs rocheux individualisés ainsi que l'extension de la zone de danger. Lors de ces simulations, il est en mesure d'intégrer ou non l'action des arbres en tant qu'obstacles.

RockFor^{NET}

Accessible gratuitement et publiquement via <http://www.rockfor.net>, l'outil RockFor^{NET} a été créé sur la base de ces résultats expérimentaux et des simulations numériques réalisées par le Cemagref. Il permet à chaque utilisateur de calculer l'aléa résiduel probable de chute de pierres à l'aval d'une forêt de protection. Cet aléa est défini comme étant le pourcentage de pierres pouvant franchir une zone boisée

distance correspond au parcours moyen dégagé d'arbres de notre site expérimental. Cet outil est aussi utilisable sur d'autres sites que le site expérimental. Il a été testé en Valais dans le cadre du projet INTERREG III A intitulé *Gestion durable des forêts de montagne à fonction de protection*. Deux variantes selon le volume moyen des blocs (0.2 et 0.5 m³) y furent analysées. Grâce au résultat fourni par RockFor^{NET}, le gestionnaire local a été en mesure de mieux orienter les objectifs de gestion du massif forestier concerné. Les chiffres sont, en effet, éloquentes.

Sur le site analysé, pour 0.2 m³ – et tout en tenant compte d'une trajectoire en forêt de 550 m –, l'outil de simulation précise qu'avec 475 tiges de 24 cm de diamètre moyen, tous les blocs restent en forêt. Par contre, pour le même diamètre moyen, il faudrait 2000 tiges pour obtenir le même

- période de révolution
- pourcentage de régénération.

En bref

De ces expérimentations grandeur nature, il ressort que des arbres de faibles DHP ont aussi un rôle de protection non négligeable. La meilleure protection est offerte par les peuplements ayant une forte distribution de diamètres et par des forêts composées d'une mosaïque de peuplements à différents stades de développement. De plus, les feuillus peuvent dissiper plus d'énergie que les conifères. Par conséquent, l'obtention de peuplements mélangés stables offrant une protection efficace par rapport aux chutes de pierres devrait (en fonction des potentialités des milieux) intégrer des essences feuillues et plus particulièrement le hêtre et l'érable.

En zone de montagne, la gestion forestière doit de plus en plus tenir compte des demandes du public. Cela est d'autant plus vrai dans le domaine de la prévention et de la protection durable des risques naturels. C'est uniquement de cette manière que les nombreux avantages de la gestion forestière pourront être valorisés en termes d'attraits et de multiples bénéfices offerts par les forêts de montagne. Pour ce faire, la gestion forestière doit devenir de l'«ingénierie» écologique à part entière. Dans cette optique, des outils tels que le RockFor^{NET} sont capables d'offrir aux praticiens une aide et un soutien importants.

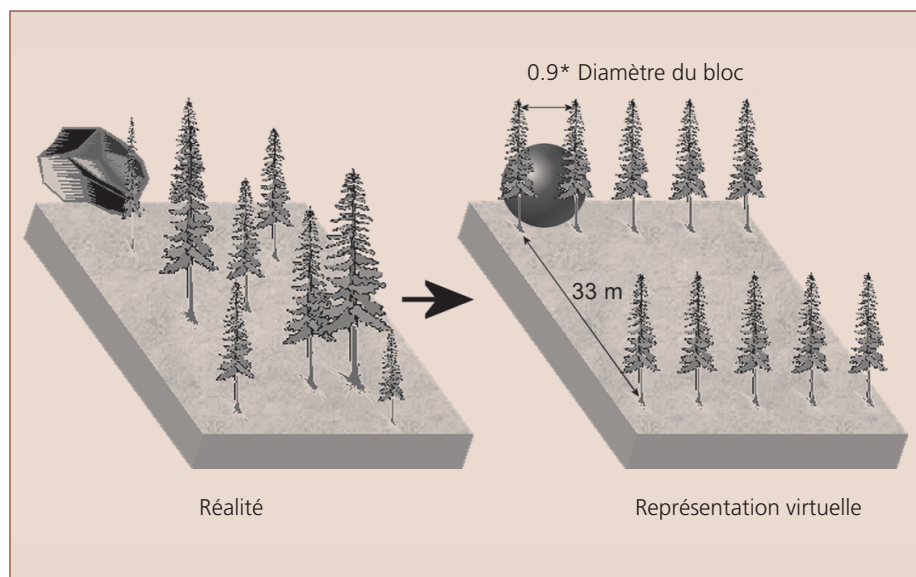


Fig. 3. Présentation schématique du principe général de RockFor^{NET}.

(le calcul est réalisé à la sortie de l'écran boisé). Le principe général de RockFor^{NET} vise à assimiler une forêt à une série de filets pare-pierre distribués spatialement. À partir des données dendrométriques d'un peuplement forestier, cet outil convertit la structure existante de la forêt en rangées d'arbres (dénommés rideaux). Au sein d'un rideau, la distance entre deux arbres est égale à 90% du diamètre du bloc rocheux et la distance inter-rangées est au maximum de 33 m (cf., Fig. 3). Cette

résultat avec des blocs de volume moyen de 0.5 m³. Pour de tels blocs, il faudrait plutôt 344 tiges de diamètre moyen de 36 cm pour avoir un résultat identique. Sur le site valaisan, selon le rapport géologique, il faut plutôt s'attendre à des blocs de 0.5 m³ en moyenne. Ainsi le gestionnaire réussit-il à mieux fixer les objectifs de protection du peuplement concerné, c'est-à-dire :

- maintien de gros arbres stables
- fixation d'un diamètre maximal selon les essences

Bibliographie

- BITTERLICH, W., 1984. *The relascope idea: relative measurements in forestry*, Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal, UK. 242 p.
- COUVREUR, S., 1982. *Les forêts de protection contre les risques naturels*. École Nationale du Génie Rural des Eaux et Forêts (ENGREF), 89 p.
- DORREN, L.K.A., BERGER, F., LE HIR, C., MERMIN, E. ET TARDIF, P., 2005. *Mechanisms, effects and management implications of rockfall in forests*. *Forest Ecology and Management*.
- DORREN, L.K.A. ET BERGER, F., 2006. *Stem breakage of trees and energy dissipation during rockfall impacts*. *Tree Physiology*.
- JAHN, J., 1988. *Entwaldung und Steinschlag*. Internationales Symposium Interpraevent 1988 in Graz. Tagungspublikation, Band 1, S. 185-198.
- GSTEIGER, P., 1993. *Steinschlagschutzwald*. Ein Beitrag zur Abgrenzung, Beurteilung und Bewirtschaftung. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 144, S. 115-132.
- SCHWITTER, R., ET AL., 1998. *Dokumentation der 14. Arbeitstagung der Schweizerischen Gebirgswaldpflegegruppe mit der FAN 1998, Grafenort/Engelberg*.

Notre travail commence là où le standard s'arrête.....sur une remorque forestière MAROLF votre bois est en sécurité

MAROLF
Walter Marolf AG 2577 Finsterhennen / Tél. 032 396 17 44 Fax 032 396 27 12 / marolf@swissonline.ch www.marolf.ch