HAL
open science

Forêt et protection contre les chutes de rochers

V. Cattiau, E. Mari, J.P. Renaud

To cite this version:

V. Cattiau, E. Mari, J.P. Renaud. Forêt et protection contre les chutes de rochers. Ingénieries eau-agriculture-territoires, 1995, 3, p. 45 - p. 54. hal-00467475

HAL Id: hal-00467475

https://hal.science/hal-00467475v1

Submitted on 26 Mar 2010

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Forêt et protection contre les chutes de rochers

Virginie Cattiau, Édouard Mari, Jean-Pierre Renaud

En montagne, la stabilité des forêts apparaît comme une condition indispensable au maintien des terres sur les fortes pentes et à la préservation d'un milieu particulièrement fragile. L'analyse des peuplements et des contraintes qui pèsent sur eux conditionnent les choix sylvicoles nécessaires pour préserver cette stabilité (Chauvin et al., 1994). Mais si la gestion sylvicole bénéficie depuis longtemps d'importantes recherches pour améliorer qualitativement et quantitativement la production ligneuse, l'optimisation d'une sylviculture dédiée à d'autres fonctions, la biodiversité ou la protection physique par exemple, s'appuie le plus souvent encore sur des connaissances empiriques et qualitatives.

Des études sont menées pour caractériser les relations entre forêts et risques naturels et quantifier les indicateurs forestiers pertinents dans un objectif de protection. Dans ce cadre, l'étude du rôle des forêts vis-à-vis des risques de chutes de rochers, originale par rapport aux approches sylvicoles classiques, n'en constitue pas moins un enjeu spatial considérable. Dans de nombreuses régions montagneuses, en effet, plus particulièrement les Alpes, le gestionnaire forestier se trouve le plus souvent démuni pour démontrer l'importance du rôle de sa forêt dans la maîtrise de ces phénomènes. Il se contente alors le plus souvent de rechercher le maintien de la situation existante par une attitude généralement attentiste. L'étude présentée ici a porté dans un premier temps sur l'identification d'une zone forestière où la fonction de protection contre les chutes de rocher peut être considérée comme prioritaire et doit conditionner fortement l'objectif de gestion de la forêt. Dans un deuxième temps, on a étudié sur cette zone les interactions forêts-chutes de blocs et esquissé les modes de gestion les plus adaptés, à l'aide de simulations informatiques construites à partir d'études de cas réels.

Aménagement et multifonctionnalité d'une forêt de montagne

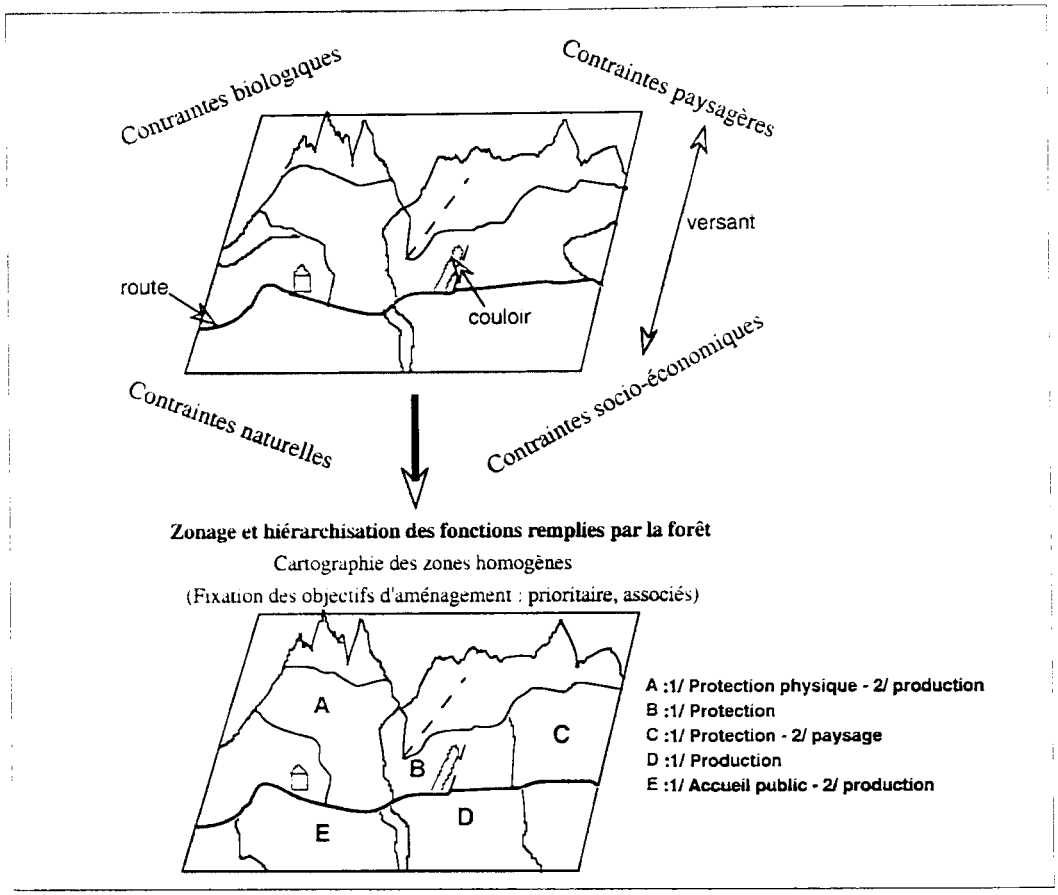
Cette étude s'inscrit dans le cadre d'un aménagement forestier pilote, réalisé au Cemagref à Grenoble, en collaboration avec l'ONF de Savoie (Mari 1994). L'objectif était, à travers un cas particulier considéré comme exemplaire et démonstratif, de proposer une méthode d'analyse et de hiérarchisation des différentes fonctions jouées par les forêts en montagne et de rechercher sur quelques zones test les modes de gestion les plus adaptés selon la fonction à privilégier.

En effet, en montagne sans doute plus qu'ailleurs, il est nécessaire de préserver une forêt en respectant ses différents usages replacés dans le contexte géographique élargi à l'ensemble de la vallée ou du versant. Le gestionnaire forestier est alors amené à conduire une étude préalable approfondie des contraintes non strictement sylvicoles liées à la forêt. Cette « solidarité », à la fois géographique et fonctionnelle de la forêt avec son environnement, suppose donc des outils permettant le croisement de couches d'information d'origines très variées et faisant appel à des échelles d'appréhension différentes.

Au cours de cette première phase, l'utilisation du système d'information géographique « ARC INFO » a facilité, après l'acquisition des données spatiales, leur traitement et leur croisement et permis ainsi la réalisation et la mise à jour de documents cartographiques de qualité.

V. Cattiau
et E. Mari
Stagiaires FIF-ENGREF
J.-P. Renaud
Cemagref
Protection contre les érosions
2, rue de la Papeterie
BP 76
38402 St-Martin-d'Hères

Figure 1. – Principes généraux de la phase 1 de l'étude : zonage et fonction de la forêt ▶



La réalisation d'une synthèse cartographique de ces différentes données spatiales, hiérarchisant les principales contraintes susceptibles d'influencer la gestion forestière, constituait donc l'objectif principal de cette première phase et devait apporter à l'aménagiste ainsi qu'au propriétaire des éléments objectifs pour orienter ses choix.

La forêt de Sainte-Foy-Tarentaise - Détermination de zones homogènes et des objectifs de gestion

La forêt communale de Sainte-Foy-Tarentaise, située entre Bourg-Saint-Maurice et Tignes, dans la haute vallée de l'Isère, concentre sur ses 1 130 ha l'essentiel des contraintes susceptibles d'être rencontrées dans la gestion des forêts de montagne. Elle est située sur les versants d'une ancienne vallée glaciaire où plus de la moitié de la forêt présente des pentes de plus de 50 %. Elle occupe une position intermédiaire entre un domaine alpin et glaciaire qui alimente de vastes couloirs d'avalanches (le mont Pourri culmine à 3 780 m) et une vallée fortement occupée par les activités humaines. La route départementale 902 est périodiquement empruntée par un flux touristique considérable transitant vers les stations de Tignes et Val-d'Isère, situées plus en amont. Plus de 13 000 passages journaliers ont été comptés dans les deux sens en février 1993.

Le rôle de protection que peut remplir cette forêt contre la chute de blocs a donc été particulièrement analysé afin de localiser et hiérarchiser les zones forestières pouvant avoir une fonction de protection prioritaire. La méthodologie choisie a été développée au Cemagref (Berger - Renaud, 1994). Une terminologie précise est utilisée.

• **Aléa naturel** : phénomène naturel caractérisé par sa nature et son activité (intensité-temps de retour).

• **Enjeu** : bien humain ou activité économique caractérisé par sa nature et son importance (vulnérabilité).

• **Risque naturel** : aléa menaçant un enjeu.

• **Forêt à fonction de protection** : zone boisée jouant un rôle dans la maîtrise d'un risque naturel (y compris les risques potentiels non actifs).

Les autres fonctions de protection de la forêt concernent les biotopes sensibles, les paysages. La forêt assure également l'accueil du public et bien entendu la production ligneuse. Toutes ces fonctions ont été également étudiées et cartographiées (figure 1). La confrontation et la hiérarchisation de ces différentes approches a conduit à proposer une délimitation de zones homogènes à objectifs prépondérants. Sur chacun de ces secteurs, une analyse à échelle plus fine intégrant l'histoire et la description des peuplements, les conditions de desserte etc., a permis d'affiner le diagnostic sylvicole et proposer des modes de gestion réalistes et compatibles avec les objectifs principaux définis préalablement (Mari, 1994).

Interactions forêts-chutes de blocs sur une zone à fonction de protection prioritaire

Lors de la phase précédente, la zone de la Raie a été identifiée comme un secteur prioritaire pour la protection contre les chutes de blocs (Mari, 1994). C'est donc cette fonction qui est considérée dans les objectifs de gestion.

Partie la plus pentue d'un versant orienté sud-ouest, elle est entièrement boisée. Constituée d'une pessière quasiment pure, traitée en futaie jardinée depuis plus d'un siècle, la forêt appartient au domaine communal de Sainte-Foy-Tarentaise et est gérée par l'ONF. Elle domine sur plus de 2 km la route départementale 902, seul accès aux stations de Tignes et Val-d'Isère. Sur le plan géologique, la zone étudiée se trouve en zone briançonnaise, sur le socle de la Vanoise, en limite d'une zone de schistes lustrés, fortement faillés au sud. La roche mère, constituée de micaschistes, affleure et forme des falaises en haut du versant. Elle est recouverte sur les pentes par des dépôts glaciaires quaternaires, mélangés à des éléments plus ou moins grossiers.

Depuis une vingtaine d'années, des phénomènes de chutes de rochers et de coulées de neige ont attiré l'attention des services chargés de la protection de la route (DDE, RTM) sur une capacité amoindrie de la forêt à maîtriser le risque. En avril 1986, la chute spectaculaire d'un bloc de 40 m³ sur la chaussée a provoqué la mort de quatre personnes dans un véhicule et confirmé la réalité des dangers et l'urgence d'un traitement. La proximité des Jeux Olympiques d'Albertville a incité les pouvoirs publics à engager un premier inventaire des zones dangereuses (BRGM, 1991), situées directement au-dessus de la chaussée.

◄ Photo 1. – Vue générale du versant de la Raie et de la route départementale 902

Une première tranche de travaux de protection (filets pare-pierres et pare-avalanches) a ainsi pu être réalisée. A la suite de l'ouragan de 1990, la disparition sur plusieurs hectares de peuplements instables est venue en outre rappeler que la protection complémentaire qu'ils offraient étaient d'une part mal connue et d'autre part pas éternellement garantie.

▬ *Le point des connaissances*

Les chutes de matériaux - Approche dynamique

La dynamique des chutes de blocs est semblable à celle d'autres phénomènes comme les coulées de boue ou les avalanches. Elle se caractérise par la mise en mouvement d'un matériau superficiel lors d'une rupture d'équilibre après fracturation d'une paroi rocheuse avec décrochement de matériaux ou remise en mouvement dans la pente d'un bloc isolé. On assiste ensuite à une propagation dans la pente, associant mouvements horizontaux et verticaux, jusqu'à l'arrêt du phénomène par un retour à l'équilibre.

Trois zones sont donc concernées par cette dynamique (figure 2). La zone de départ du phéno-

mène supporte les blocs qui sont mobilisés par rupture d'équilibre. L'énergie acquise au cours de cette phase, fonction de la hauteur de chute avant le premier rebond, conditionnera leur trajectoire. La zone de transit ou de propagation est celle où le phénomène se développe et où l'énergie gravitationnelle accumulée reste supérieure aux pertes par frottements. La masse en mouvement ainsi que son énergie évoluent (possibilité de fractionnement). La trajectoire empruntée est fonction de la topographie, de l'énergie de départ, des éléments rencontrés le long du profil. La zone d'arrêt est caractérisée par une dissipation complète de l'énergie du bloc se traduisant par un retour à un état d'équilibre, qui peut d'ailleurs être précaire et instable.

Sur un site donné, l'importance du phénomène « chutes de blocs » est donc fonction des masses mises en jeu, de la nature du matériau, de la topographie, des éléments rencontrés pendant la chute (sol, végétation…).

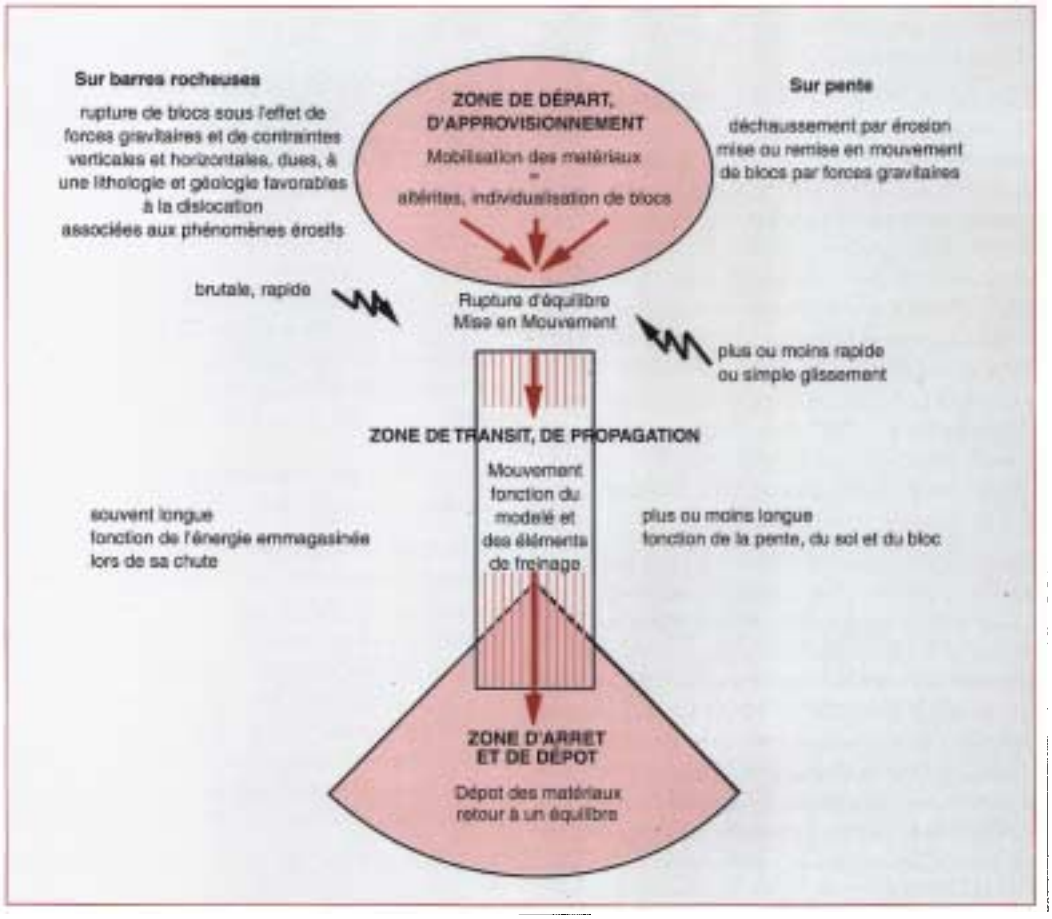
En ce qui concerne la végétation, on peut dire que le rôle de protection active que peut jouer la forêt dans les zones de départ est le plus souvent inexistant, voire négatif (action mécanique des racines), à l'exception de certaines zones particulières (éboulis, par exemple). Le rôle de protection majeur joué par la forêt vis-à-vis des chutes de blocs est passif. Il est matérialisé par l'écran que peut constituer un peuplement face à un bloc en chute sur une pente. L'intensité de ce rôle est fonction d'un certain nombre de paramètres que nous allons maintenant analyser.

Approche mécanique des chocs bloc-arbre - Extrapolation au peuplement forestier

La difficulté de la modélisation des interactions bloc-arbre réside principalement dans la quantification du bilan énergétique avant/après choc et l'approche cinétique des trajectoires.

• A l'échelle du matériau bois, les essais réalisés en laboratoire sur éprouvettes de diverses essences

Figure 2. – Dynamique des chutes de blocs ▶



◀ Figure 3. – Effets d'un choc sur un arbre *in situ* (l'exemple d'un bloc)

(morceaux de bois calibrés) ont permis de déterminer que l'effort de cisaillement nécessaire à la rupture d'une éprouvette était proportionnel à la section de bois cassé et dépendait très directement de l'espèce concernée. L'énergie calculée lors du choc est de l'ordre de 16 à 19 J/cm² pour l'épicéa, 30 à 35 J/cm² pour le hêtre et 46 à 61 J/cm² pour le robinier faux-acacia (données CTBA).

• Les mesures réalisées *in situ* sur le hêtre servant à calculer l'énergie nécessaire pour casser un arbre cible [a] avec une boule de fonte, ont confirmé une bonne corrélation entre l'énergie et la section de l'arbre. Les résultats bruts obtenus sont par contre incomparablement supérieurs (de l'ordre de 100 à 1 000) par rapport à l'énergie calculée pour des « troncs » de même section dans des conditions de laboratoire (Couvreur, 1982). Il apparaît donc que l'individu « arbre » a une capacité de dissipation énergétique beaucoup plus grande qu'un « tronc » de même dimension, grâce en particulier à l'effet des racines et des houppiers (figure 3).

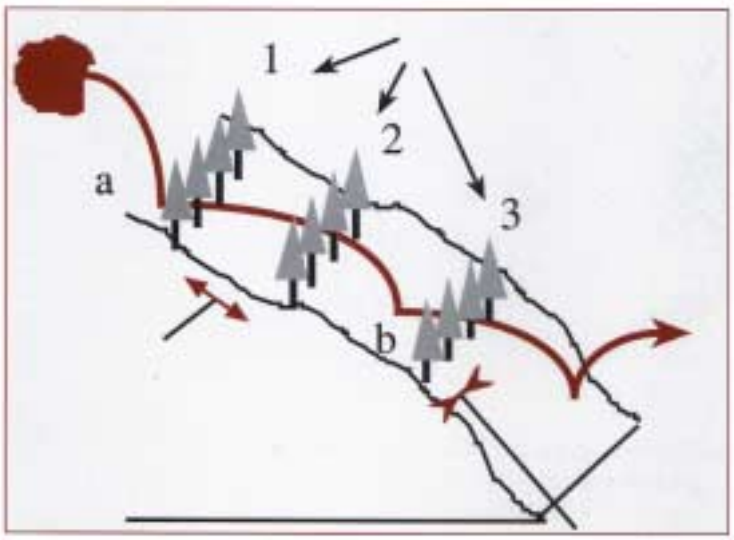
• Des études ont cherché à extrapoler les résultats précédents et appréhender la capacité d'un peuplement forestier, supposé homogène, de freiner un bloc de taille donnée. Les mesures réalisées ont permis, dans des conditions de profil déterminées, de calculer une masse critique maximale susceptible d'être arrêtée par le peuplement. Ce dernier est assimilé à un rideau d'arbres et caractérisé dans les calculs de bilan énergétique par sa surface terrière (somme des sections individuelles des tiges susceptibles d'être heurtées) et l'essence concernée. Les résultats ont pu en partie être validés sur le terrain (Couvreur, 1982 ; Rupe, 1991).

▬ *Appréciation du rôle protecteur d'un peuplement*

Notre principal objectif était de réaliser un diagnostic en vraie grandeur du rôle de la forêt vis-à-vis du risque de chutes de blocs, en conditions topographiques et structurales variables. Nous avons donc fait appel à un logiciel de trajectographie développé depuis quelques années par un bureau d'études grenoblois (Association pour le développement des recherches sur les glissements de terrains, ADRGT) à des fins d'expertise sur des sites exposés. Notre but était donc de l'adapter au milieu forestier.

Le principe général du logiciel utilisé est de calculer, à partir de données de terrain telle que le profil en long du transect, la nature du sol ou les caractéristiques des blocs au départ, les zones d'arrêt et les hauteurs de passage des blocs lors de leur trajectoire en tous points du profil. La méthode s'appuie sur le calcul d'un bilan énergétique réalisé en chaque point d'impact du bloc au sol (rebond) dans un plan vertical. Le calcul est recommencé 100 fois de suite pour chaque profil en faisant varier aléatoirement les différents coefficients d'absorption d'énergie à l'intérieur d'une fourchette définie par les données de terrain (nature du sol, possibilité de fragmentation, angle au sol au point d'impact, etc.).

La végétation est prise en compte, comme pour le sol, au moment du rebond, dans le calcul du bilan énergétique, sous forme d'un coefficient d'absorption d'énergie aléatoire, dont on fixe le maximum et le minimum d'après les caractéristiques levées sur le terrain. On peut ainsi avoir accès à une vitesse de sortie, modifiée par rapport à celle obtenue en profil nu.



◀ Figure 4. – Principe théorique de la prise en compte de la végétation contre les chutes de rochers

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

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

ab = distance entre a et b

L = distance entre 2 rideaux

e1r = énergie dissipée par le passage d'un rideau pour le peuplement **1**. **e1r** est fonction du diamètre des arbres constituant le rideau, de l'essence, et est approchée par l'utilisation des données sur éprouvette et des résultats expérimentaux de Couvreur essentiellement.

Eab est choisie aléatoirement entre ces deux valeurs.

La perte d'énergie due à la végétation se calcule en assimilant un peuplement à une succession de rideaux efficaces d'arbres (Couvreur, 1982 ; Cattiau, 1994). L'espacement des arbres sur un même rideau est fonction de la taille du bloc au départ, l'espacement des rideaux entre eux est par contre fonction de la densité du peuplement en place (figure 4).

L'application de cette méthode permet donc de tenir compte de la variation de végétation le long du profil. Les caractéristiques dendrométriques étaient jusqu'alors évaluées sommairement par l'expert de l'ADRGT et validés au cas par cas empiriquement («calage des coefficients »).

Un des objectifs de notre étude était donc de paramétrer les différents coefficients « végétation » utilisés, de les intégrer dans une nouvelle mouture du logiciel, d'analyser les résultats obtenus avec ou sans végétation et de constituer la base d'un futur travail de validation expérimentale.

Prise en compte des différents paramètres terrain

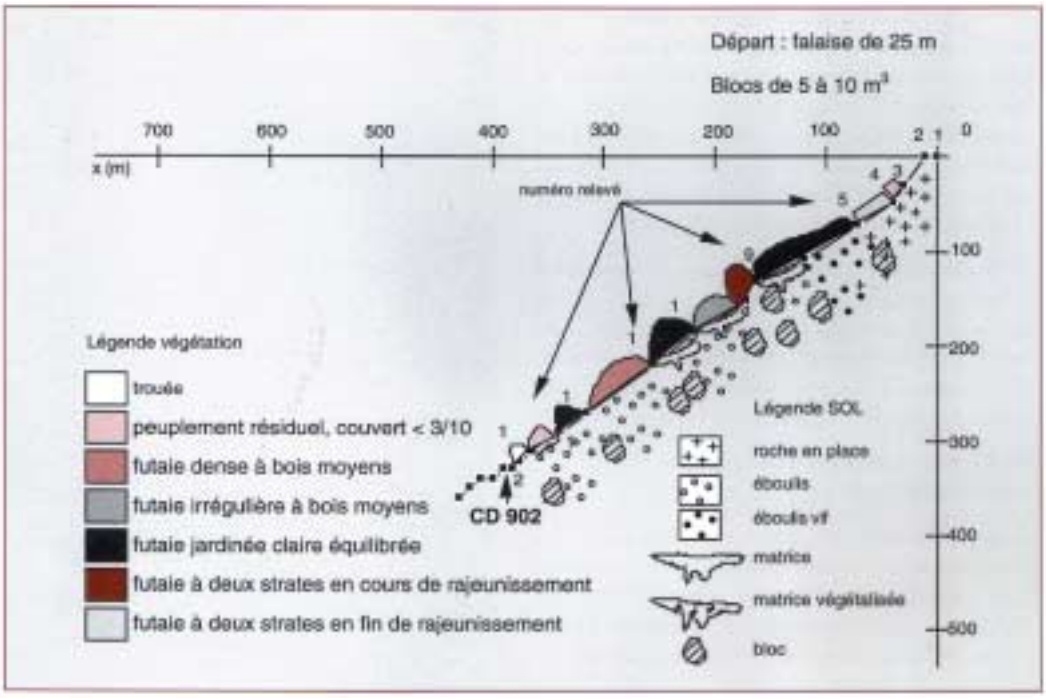
La démarche adoptée dans cette étude se décompose en deux étapes. On construit d'abord un modèle numérique de terrain, à l'échelle du versant et à partir d'une carte des pentes et on visualise 100 profils implantés systématiquement tous les 50 m. Les 100 profils sont regroupés en quatre familles, en fonction des pentes moyennes, de l'existence de ressauts,

Groupe	Types structuraux	Caractères dendrométriques
Végétation arbustive-trouées	A	*G < 15 – N/ha < 400 tiges*
Forêt claire	D2, B1, B2, D3, E4	*G < 15 – N/ha > 400 tiges*
Forêt moyenne à densité faible	C3, D1, C4, E5 *% BM – GB > 50*	*15 < G < 30 – N/ha < 400 tiges*
Forêt moyenne à densité forte et riche en petits bois	B3, E1, E2 *% BM – GB < 50*	*15 < G < 30 – N/ha > 400 tiges*
Forêt à fort matériel à densité moyenne et à gros bois	E3	*G > 30 – N/ha > 400 tiges* *GB > BM*
Forêt à fort matériel à densité élevée et à bois moyens	C1, C2	*G > 30 – N/ha > 400 tiges* *GB < BM*

G = surface terrière (m²/ha) – N/ha = densité estimée sur 0,25 ha (tiges de 7,5 cm de diamètre et plus)

BM – GB = proportion en nombre de tiges de bois moyens (27,5 cm – 42,5 cm de diamètre à 1,30m) et de gros bois (> 42,5 cm de diamètre à 1,30m)

Figures 5. – Classement des principaux types de structure de la forêt ▶



◀ Figure 6. – Données d'habillage du profil 65

de falaises, etc. On choisit ensuite quatre profils représentatifs pour effectuer les mesures de terrain et pour paramétrer le modèle de trajectographie.

Trois types de données sont récoltés pour chacun des profils à partir d'arrêts systématiques : les données topographiques, géologiques et sylvicoles.

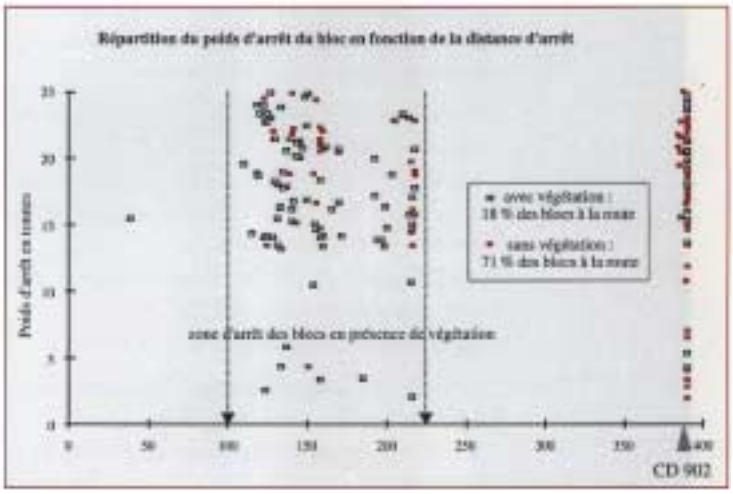
Les données topographiques servent à mesurer tous les 25 m la pente à l'aval et à l'amont et à indiquer toutes les ruptures de pente.

Les données géologiques concernent la nature du sol. Le sol réceptionne en effet les blocs au moment de leurs chutes. Selon sa nature, il conditionne le type de rebonds en absorbant l'énergie variable des blocs, fragmente plus ou moins le bloc et influence ainsi la trajectoire. Une description réalisée tous les 50 m permet de distinguer les rochers en place, affleurant ou subaffleurant, les chaos rocheux, les éboulis vifs ou non, à blocs ou non, et enfin les sols meubles. Une observation détaillée des zones potentielles de départ (fissures, pendage des couches, origine, nature...) permet d'évaluer les volumes mobilisables et de localiser les points critiques.

Enfin, les données sylvicoles sont particulièrement importantes car elles doivent constituer l'élément nouveau susceptible de faire progresser le logiciel vers une meilleure prise en compte de la végétation forestière.

Nous avons repris comme base de la description les principaux éléments d'une typologie des structures construite par le Cemagref pour les pessières et sapinières des Alpes du Nord (Renaud et al., 1994). Cette typologie construite à partir de 11 sites représentatifs, dont faisait partie le site de la Raie, distinguait 16 types structuraux principaux discriminés en premier lieu par l'importance du couvert (corrélé à la surface terrière) et la répartition relative des différentes strates composant le peuplement (corrélé à la répartition par catégories de diamètre). Ces 16 types élémentaires

Figure 7. – Profil 65 : résultats trajectographiques. Rôle de la végétation en place ▼



sont regroupés en cinq familles (peuplements régularisés à jeunes bois (B), peuplements régularisés à bois moyens ou mûrs (C), peuplements vieillis en cours de rajeunissement (D), peuplements multistrates (E), peuplements clairs (A)). Ils ont été redistribués pour les besoins de notre étude en cinq groupes, en fonction des paramètres dendrométriques liés directement au coefficient d'absorption d'énergie (figure 5).

Cette classification, réalisée sur la base de l'expérience conjointe des concepteurs du logiciel et des spécialistes forestiers, constitue donc une première base d'analyse, transposable à d'autres sites. Néanmoins, elle doit faire encore l'objet d'un important travail de validation sur des sites d'expérimentation.

Principaux résultats des simulations trajectographiques

Trois profils différents, appartenant à trois familles topographiques distinctes, ont fait l'objet d'une étude trajectographique qui fournit, pour chacune des 100 simulations réalisées par cas, la distance d'arrêt, l'altitude d'arrêt et le poids des blocs à l'arrivée.

De plus, des graphiques proposent une représentation de 10 trajectoires caractéristiques sur le profil (en y incluant la hauteur des rebonds successifs) et la répartition des poids à l'arrivée en fonction de la distance d'arrêt. On trouvera figures 6 et 7 un exemple, concernant le profil n° 65, des différents paramètres « d'habillage » du profil et les résultats relatifs à la position et aux poids des blocs au moment de leur arrêt, avec ou sans prise en compte de la végétation.

Pour chaque profil, deux types de situation ont été testés, l'un en considérant un profil sans végétation (sol nu), l'autre en y intégrant le couvert boisé et les différents coefficients d'absorption d'énergie pour chacun des types structuraux décrits.

Les résultats obtenus pour chacun des trois profils testés sont explicites.

– Sur le profil n° 65, 71 % des blocs lancés arrivent à la route, sur le versant non boisé contre 18 % avec le boisement existant (figure 7).

– Sur le profil n° 59, les résultats obtenus sont respectivement de 63 % et 0 %.

– Sur le profil n° 45, les résultats sont de 95 % et 19 %.

Il apparaît de plus une forte atténuation des hauteurs de rebonds, qui restent comprises entre 0,5 m et 2 m, alors qu'on obtient près de 12 m calculés en terrain nu.

▲ Photo 2. – Exemple d'impact d'un bloc sur un arbre

Les résultats confirment donc le caractère particulièrement exposé du versant : 60 % à 95 % des blocs partant du sommet arrivent à la route dans l'hypothèse d'un sol nu. En outre, le couvert forestier actuel, même relativement lacunaire, permet la maîtrise partielle du risque, soit en arrêtant les blocs avant la route, soit en limitant les hauteurs des rebonds, augmentant ainsi l'efficacité des mesures de type génie civil complémentaires (par exemple, des filets).

Enfin, nous avons réalisé pour un des profils tests (n° 65), des simulations figurant des évolutions possibles du peuplement dans un sens positif (accroissement de la densité, de la surface terrière) ou négatif (déboisement sur une partie du profil).

Six scénarios ont ainsi pu être testés, modifiant les peuplements selon plusieurs modalités.

– S_0 : installation, sur l'ensemble du profil, d'un peuplement jardiné complet (coefficient d'absorption moyen mais bonne stabilité) ;

– S_1 : peuplement uniforme dense (absorption maximale mais forte instabilité) ;

– S_2 : évolution des peuplements actuels en maintenant la structure irrégulière par bouquets mais avec augmentation progressive du volume sur pied ;

– S_4 : mosaïque de peuplements de structures variées sans rupture significative du couvert ;

– S_3 : déboisement d'une bande intermédiaire située entre 150 et 200 m de la zone de départ (avec maintien d'un peuplement optimum sur le reste du versant) ;

– S_5 : déboisement d'un haut du versant sur une largeur de 200 m.

Les résultats obtenus mettent en évidence la très forte efficacité des peuplements denses (N/ha > 400 t/ha) à forte surface terrière, (> 25 m^2/ha) pour peu qu'ils soient situés à proximité des zones de départ (dans les scénarios S_0 et S_1, tous les blocs sont arrêtés entre 50 et 100 m après leur départ). Des peuplements plus clairs, mais constituant une mosaïque complète plus dense que la structure moyenne actuelle (scénarios S_2 et S_4) sont également efficaces, même si les distances d'arrêt sont significativement allongées (150 à 200 m à partir de la zone de départ). Enfin, en cas de disparition ponctuelle du peuplement, un déboisement dans la zone sommitale, même en présence de peuplements denses en aval, provoque la chute de blocs sur la route (scénario S5).

Pour une gestion adaptée des forêts à fonction de protection

Les simulations trajectographiques sur les trois profils tests ont mis en évidence l'efficacité du couvert forestier actuel, sous réserve d'une validation expérimentale des hypothèses introduites dans le modèle.

Les scénarios d'évolution des peuplements précisent les conditions sylvicoles permettant d'optimiser le rôle protecteur de la forêt. Il s'agit, plus particulièrement, d'une dissipation la plus rapide et la plus efficace possible de l'énergie développée par les blocs après leur départ. Cela suppose, dans le cas de décrochement de falaises, le maintien d'une forêt dense dans la partie haute du versant. Des structures sylvicoles suffisamment complètes et susceptibles de constituer un écran efficace, sur une largeur suffisante (>200 m), sont également nécessaires pour maîtriser ou atténuer les aléas.

Deux options peuvent être retenues en termes de gestion sylvicole. La première concerne la constitution de peuplements relativement homogènes suffisamment denses en nombre (> 400 tiges/ha) et en surface terrière (> 25 m^2/ha), riches en bois moyens. Ces structures, les plus efficaces, doivent faire néanmoins l'objet d'une gestion relativement intensive pour minimiser les risques de déstabilisation. La seconde consiste à maintenir une mosaïque structurale constituée d'un mélange intime de structures claires et plus denses, en veillant à une alternance correcte sur tous les profils verticaux exposés. Cette option, sans doute moins efficace en terme de capacité de protection, paraît cependant plus adaptée et moins « risquée » dans le cadre d'une gestion extensive, inévitable dans le contexte local.

Les contraintes pesant sur l'exploitation forestière dans ce secteur, liées en grande partie à la présence de la route départementale 902 (risques d'éboulements au moment des opérations d'abattage et de débardage) sont encore aggravées localement par la présence de filets protecteurs interdisant toute intervention sans démontage préalable. Les surcoûts ainsi générés (exploitation par hélicoptère indispensable) peuvent rendre impossible toute activité de gestion sans une aide extérieure, justifiée par les fonctions de protection assignées à la forêt.

Enfin, les simulations trajectographiques n'ont pas pris en compte des départs de blocs dans le versant lui-même. Cette occurrence toujours possible dans le contexte chaotique du site est considérée comme *a priori* moins dangereuse que des départs depuis les falaises sommitales, la vitesse initiale des blocs et donc leur énergie étant plus faibles. Cependant, dans la partie proche de la route (sur 150 m environ), la capacité de la forêt à maîtriser la chute d'un bloc situé dans ce secteur est insuffisante, comme en témoigne l'accident de 1986. Le relevé de tous les points dangereux situés à proximité de l'enjeu, et leur traitement au coup par coup (minage, protection localisée) constituent la seule réponse à ces risques identifiés. Ce travail, déjà réalisé par le BRGM en 1990, a pu cependant être limité spatialement grâce à la présence d'un couvert forestier complet plus en amont (les 2/3 des blocs jugés dangereux étaient situés à moins de 50 m de la route).

Un outil d'aide à la décision

La mise au point d'un outil informatique construit à partir de nombreuses observations et mesures de terrain permet de dépasser l'habituel constat « la forêt protège » et d'envisager à terme une bonne intégration des actions de génie civil et de génie biologique. Mais 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 prévoyant des lâchers de blocs dans des peuplements réels. Des

approfondissements méthodologiques sont également nécessaires, comme l'analyse du caractère aléatoire des rencontres arbre-bloc, par exemple. En Suisse, des recherches sur le même thème ont permis de réaliser une expérimentation réelle en zone boisée et en zone déboisée et confirmé le rôle de la forêt dans des conditions topographiques comparables (Jahn, 1988). L'intégration de ces données dans notre modèle pourraient déjà constituer une première base commune de validation.

On pourrait alors disposer d'un véritable outil d'aide à la décision ; l'intérêt manifesté pour cette étude par les services chargés de la protection des routes préfigure d'ailleurs l'ébauche d'une réflexion plus large pour une politique économe et « durable » de la gestion des risques naturels et des espaces ruraux montagnards.

Résumé

Les fonctions de protection de la forêt de montagne, fréquemment mentionnées sont rarement quantifiées dans les aménagements forestiers. L'étude porte sur un versant boisé protégeant une route départementale contre les chutes de blocs à Sainte Foy Tarentaise (73). On a quantifié le rôle effectif du peuplement en place. Après un bilan des études menées sur le sujet, les paramètres concernés par cette problématique (aléa, topographie, forêt) à l'échelle du 1/5 000e ont été étudiés. Quelques profils représentatifs clairement identifiés lors de la première phase ont permis d'intégrer les données caractérisant les peuplements forestiers dans un logiciel de trajectographie. Des simulations réalisées sur des évolutions sylvicoles dans un sens positif ou négatif ont permis de préciser les options de gestion dans une optique multi-fonctionnelle. Ces travaux ouvrent de nouvelles pistes de recherche et de développement.

Abstract

The protective role of mountainous forests is often inferred but rarely quantified in terms of forestry management. To address this problem, this study focuses on a wooded slope which protects a main road against rockfalls at Sainte Foy Tarentaise, France, in which the effective role of the existing stand was quantified. A range of studies were used to identify and examine the factors implicated in the problem, namely risk, topography and degree of afforestation, at a scale of 1 to 5 000. The first stage of the research produced a number of clearly identifiable representative profiles, which were then used to supply forest stand data for input into a trajectory calculation program. Simulations were then produced for both positive and negative stand development to identify multi-functional management solutions. This work opens up new directions for both research and development works.

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.

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

BERGER F., RENAUD J.P. 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 : étude du versant de la Raie - Sainte-Foy-Tarentaise (Savoie). *Rapport ENGREF - Cemagref* Grenoble, 43 p.

CHAUVIN C., RENAUD JP., RUPE C., LECLERC D. 1994. Stabilité et gestion des forêts de protection. *Bulletin technique Office national des forêts*, n° 27, 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.185-198.

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. *Rapport ENGREF - Cemagref* Grenoble, 58 p.

RENAUD J.P. 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. *Rapport Cemagref* Grenoble, 157 p.

RUPE C., 1991. Etude de Saint-Martin-le-Vinoux : protection contre les chutes de blocs. *Rapport Cemagref* Grenoble, 36 p.