

Gestion des forêts de montagne à fonction de protection

Validation et développement de RockFor^{NET} : le premier outil de diagnostic rapide du rôle de protection d'un peuplement forestier à l'échelle d'un versant

The image is a composite of several elements. On the left, there are four vertical panels showing a rock falling from a cliff. The top panel shows a rock with dimensions labeled '? m'. The second panel shows a cliff face with a 7m height. The third panel shows a forest on a slope with a 7m distance. The bottom panel shows a forest on a slope with a 7m distance. On the right, there is a larger diagram of a forest on a slope with a house at the bottom, and a software interface for RockForNET. The software interface has a title bar 'RockForNET' and a subtitle 'Outil de diagnostic rapide du rôle de protection d'un peuplement forestier à l'échelle d'un versant'. Below the title bar, there is a paragraph of text: 'RockForNET donne une estimation de l'aire résiduelle probable de chutes de pierres (ARP) à l'échelle d'un versant. L'ARP est le pourcentage des blocs sortant de l'écran forestier. Pour une petite donnée le calcul de l'ARP nécessite de remplir le formulaire ci-dessous. Le point (.) doit être utilisé comme séparateur décimal.' Below this text, there are several sections with input fields: 'Description du projectile' (Diamètre du bloc (3x) (schéma) [0.1] [0.1] [0.1] m, Géologie [dropdown], Forme du bloc [dropdown]), 'Description du versant' (Pente moyenne en degrés (schéma) [0] °, Hauteur max. de la falaise (schéma) [0] m, Longueur de la zone boisée (schéma) [0] m, Distance d'entrée dans la zone boisée (schéma) [0] m), 'Description de la zone boisée' (Diamètre moyen à hauteur de poitrine (DMP) [0] cm, nbr. d'arbres à l'hectare [0] ha), and 'Répartition des essences présentes' (Sapin (Abies alba) [0] %, Mélèze (Larix decidua) [0] %, Épicéa (Picea abies) [0] %, Pin noir (Pinus nigra) [0] %, Pin sylvestre (Pinus sylvestris) [0] %, Érable (Acer pseudoplatanus) [0] %, Hêtre (Fagus sylvatica) [0] %, Robinier faux-acacia (Robinia pseudoacacia) [0] %, Chêne (Quercus robur) [0] %). At the bottom of the interface, there is a button 'Calcul de l'aire résiduelle probable de chutes de pierres'.

**Programme de recherche 2005
financé par le Conseil Général de l'Isère**

Responsables de l'étude : F. BERGER et L. DORREN
Cemagref UR-EMGR

I – Objectif général

Dans le cadre de son programme de recherche sur la quantification du rôle de protection des peuplements forestiers contre les chutes de pierres, le Cemagref a réalisé entre les années 2000 et 2004 plusieurs campagnes d'expérimentations grandeur nature de chutes de pierres sous couvert forestier. A partir de ces observations de terrains et de l'analyse des données collectées lors de ces expériences, nous avons élaboré un nouveau concept de décomposition des peuplements forestiers en rideaux efficaces assimilables à des lignes de filets pare pierres. En utilisant ce principe il nous a alors été possible de concevoir un nouveau concept pour apprécier l'aléa résiduel probable, à savoir le pourcentage de projectiles qui sont susceptible de traverser et de sortir d'un écran forestier. L'ensemble de ces concepts a été utilisé pour construire le modèle RockFor^{NET} qui est le premier outil de diagnostic rapide du rôle de protection d'un peuplement forestier à l'échelle d'un versant. Le prototype de cet outil a été testé et validé, en plus de notre site de Vaujany, sur 2 sites (1 en France et 1 en Suisse) dans le cadre du projet européen ROCKFOR (5^{ème} PCRD, coordination Cemagref). Cette étude a eu pour objectifs :

- de le tester sur un plus grand nombre de sites.
- de développer l'ergonomie informatique du prototype actuellement disponible
- de le rendre disponible et accessible au plus grand nombre possible d'utilisateurs par une mise en ligne de cet outil via internet.

II – Etat des connaissances et principe général de RockFor^{NET}

Lors d'un éboulement rocheux, les blocs vont heurter les arbres présents sur leur trajectoire. Il en résulte une dissipation d'énergie. L'énergie développée par un bloc est fonction de la vitesse de ce dernier. Cette vitesse est elle-même fonction du trajet parcouru par le bloc avant de rencontrer un obstacle ou entre deux arbres qu'il percute. Par conséquent, l'énergie développée par un bloc sera d'autant plus faible que la distance entre deux arbres percutés sera petite. Ce constat a servi et sert de base aux procédures d'intégration de la végétation forestière dans les outils de simulation trajectographique. L'approche la plus pertinente à ce jour est celle développée par G Gsteiger (1993) et basée sur le calcul de la distance moyenne dégagée d'arbre.

Cet auteur estime que la probabilité d'impact d'un bloc sur un arbre augmente avec la distance parcourue en forêt. Le Libre Parcours moyen Dégagé d'Arbre peut alors être calculé à partir du nombre de tiges à l'hectare, du diamètre moyen des arbres et du diamètre du projectile. Avec la formule suivante :

$$LPDA = S / ((NT * Dbloc) + \text{somme DHP})$$

Avec,

S = Surface occupée par le peuplement [m²]

NT = Nombre d'arbre présent sur la surface d'étude

Dbloc = Diamètre moyen des blocs [m]

DHP = Diamètre des arbres mesurés à hauteur de poitrine [m]

A partir de ce principe et du traitement des données collectées lors des expériences grandeur nature de lâchers de bloc en forêt réalisées par le Cemagref en 2002 et 2003 (sur le site de Vaujany 38), nous avons adapté le concept, développé en 1992 au Cemagref, de décomposition d'un peuplement forestier en une succession de lignes d'arbres et ce afin d'évaluer la protection offerte par ce peuplement.

Le franchissement d'une ligne (aussi dénommée « rideau ») par un projectile ne peut se faire qu'après un choc avec un des éléments constitutif de cette ligne, à savoir un arbre. La distance entre deux rideaux correspond au libre parcours moyen dégagé d'arbre : LPDA. Comme nous l'avons vu précédemment, il dépend de l'écartement des arbres et de leur répartition spatiale. Il est représentatif de la perte d'énergie

occasionnée par la présence des arbres le long du trajet. Ainsi, la perte d'énergie peut être calculée en assimilant la végétation à un écran. Cet écran est constitué d'une succession de "rideaux efficaces".

Ces rideaux sont caractérisés par deux types d'espacements (Cf. Fig. 1):

- l'espacement efficace entre leurs éléments constitutifs, il est fixé par la largeur des blocs. C'est la distance minimale entre deux éléments pour laquelle un bloc ne peut passer sans qu'il y ait frottements avec ces derniers. Pour des peuplements forestiers, la distance entre deux arbres est fixée à 90 % de la largeur des blocs utilisés dans les modèles;
- l'espacement efficace entre les rideaux. Il correspond à la distance nécessaire pour retrouver par projection orthogonale l'espacement efficace entre les éléments constitutifs des rideaux

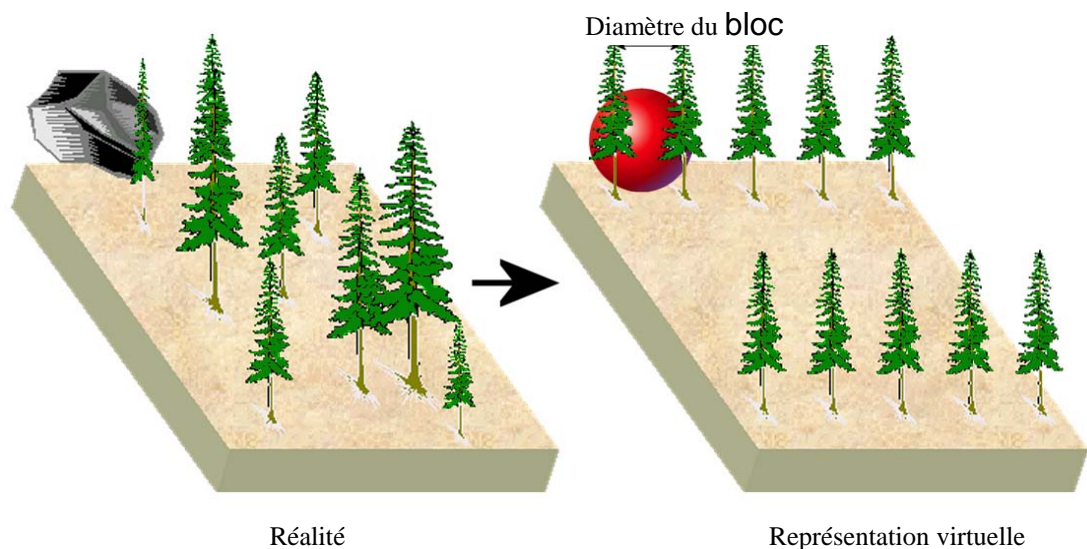


Figure 1- Principe général de décomposition d'un peuplement forestier en une séquence de rideaux virtuels.

De plus, de l'analyse des données de nos expériences grandeur nature il ressort que le pourcentage de blocs arrêtés en forêt est corrélé à la distance parcourue et à la surface terrière interceptée (Cf fig. 2, 3 et 4.)

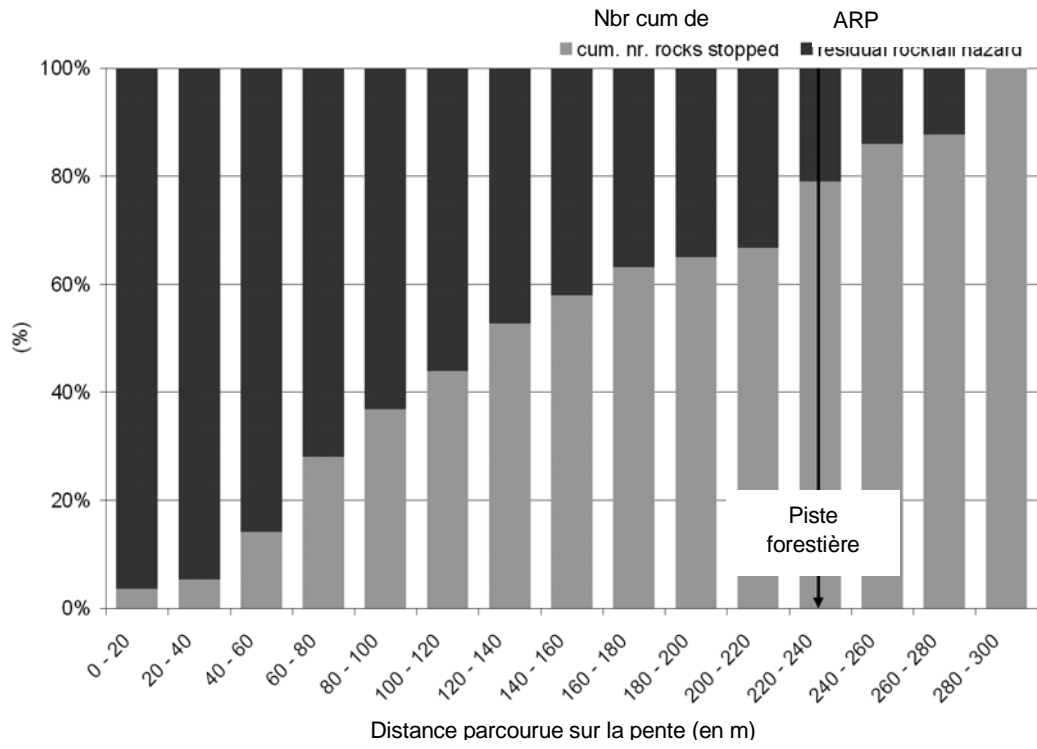


Fig. 2 - Nombre cumulé de blocs arêtes et ARP pour le site de Vaujany en fonction de la distance (sur la pente) au point de départ.

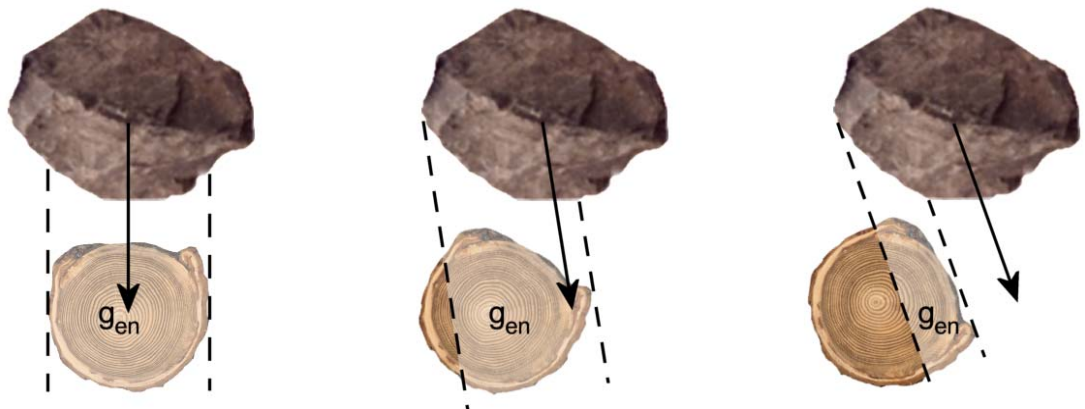


Figure 3 - Exemple de surface terrière interceptée par un bloc

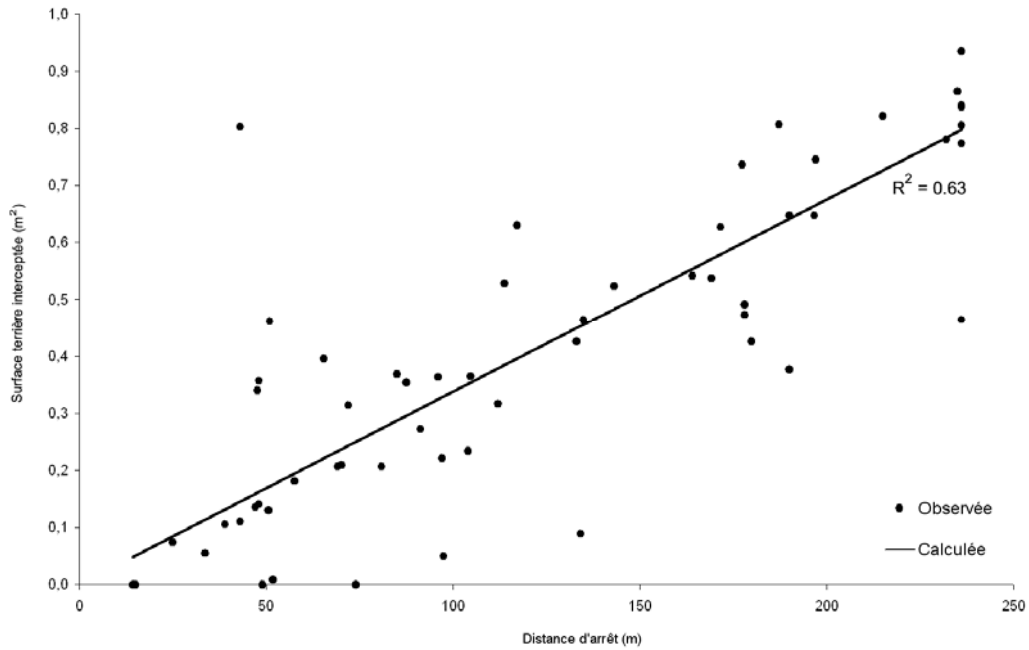


Figure 4 - Corrélation entre la distance d'arrêt des blocs et la surface terrière interceptée sur le site de Vaujany.

A partir de ces informations nous avons construit un prototype d'outil informatique (type : feuille de calcul Excel) afin de calculer l'aléa résiduel probable (ARP) à l'aval d'un peuplement forestier. L'ARP est défini comme étant la probabilité de franchissement par un bloc du secteur boisé étudié. Le bloc est décrit en fonction de ses dimensions, de sa forme et de sa hauteur de chute probable. Le calcul de l'énergie qu'il développera nécessite de connaître en plus, la pente moyenne du versant sur lequel il se déplacera. A partir de ces données nous utilisons le principe de la ligne d'énergie développée par Heim (1932), Toppe, (1987), Gerber (1998) and Meißl (1998) pour estimer son énergie maximale sur sa distance de parcours (Cf fig.5).

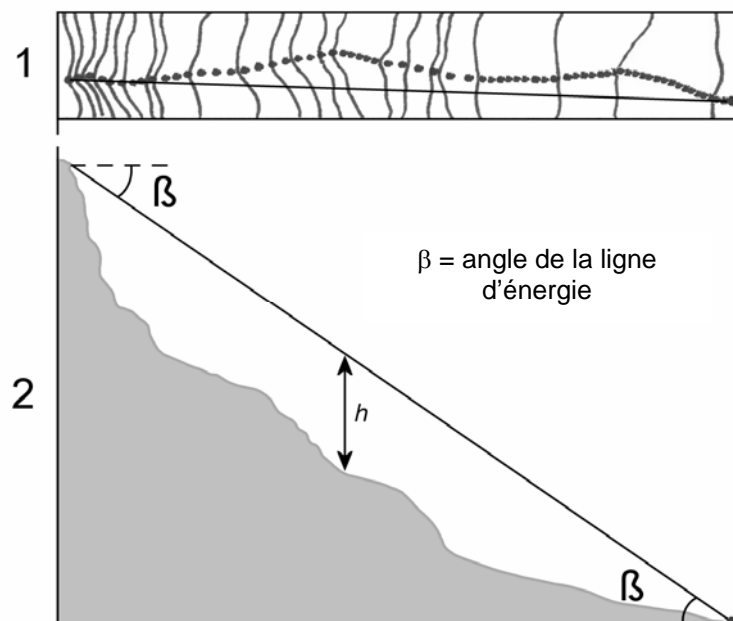


Figure 5 - Principe général de la ligne d'énergie et du calcul de l'énergie du projectile en un point de la ligne d'énergie

Ce calcul est réalisé à terrain nu, car il est nécessaire de connaître l'énergie maximale que devra dissiper l'écran forestier. Ce principe de calcul de l'énergie a été testé avec les données du site expérimental non boisé de Vaujany. La figure 6 présente un exemple d'une des analyses réalisées. Au regard des résultats obtenus, ce principe s'avère être valide.

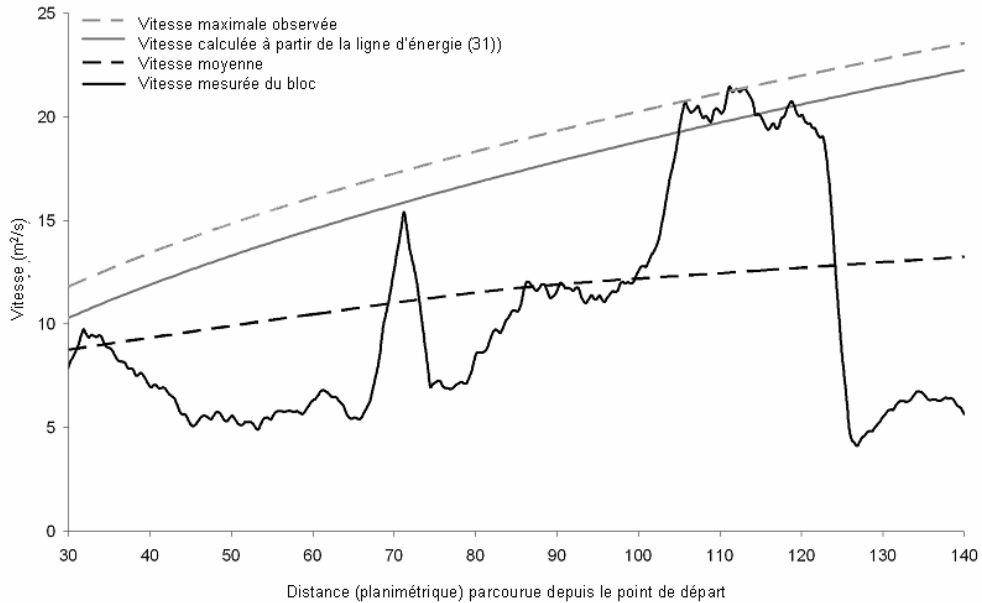


Figure 6 - Exemple de calcul de l'énergie maximale d'un bloc avec le principe de la ligne d'énergie et confrontation aux données expérimentales

La dernière information concerne l'énergie nécessaire pour casser un arbre en fonction de son essence et de son diamètre. Là encore le site de Vaujany nous a permis de construire des abaques de calcul pour les principales essences que l'on peut rencontrer dans les Alpes. La figure 7 présente ces abaques.

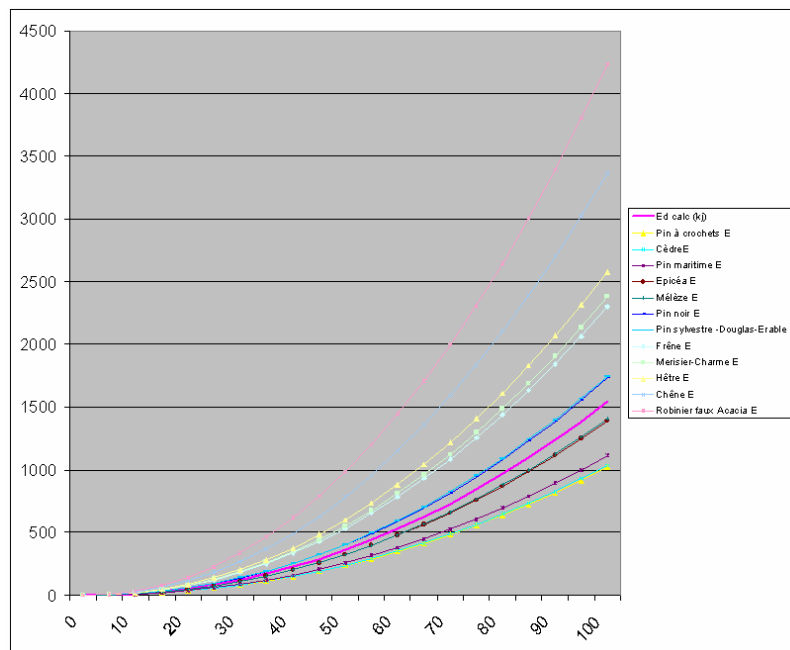


Figure 7 - Abaques pour calculer l'énergie nécessaire pour casser un arbre en fonction de son diamètre à 1,30m et de son essence.

III – Construction du prototype de RockFor^{NET}

A partir de ces informations et de ces principes de calcul nous avons construit un prototype d'outil informatique (type : feuille de calcul Excel) afin de calculer l'ARP à l'aval d'un peuplement forestier. Le bloc est décrit en fonction de ses dimensions et de sa hauteur de chute probable. A partir de ces informations il était assimilé dans ce prototype à une sphère (Cf. Fig. 8).

Etape 1 : Description du projectile							
Diamètre [cm]				Volume [m ³]	2,000		
Densité [Kg/m ³]	2500			Densité [Kg/m ³]	2800,000		
Volume [m ³]	0,000			Diamètre [cm]	156		
Masse [Kg]	0			Masse [Kg]	5600		
Masse [t]	0,000			Masse [t]	5,600		
Hauteur équivalente de chute libre [m]	Vitesse [m/s]	Vitesse [km/h]	Energie [KJ]	Hauteur équivalente de chute libre [m]	Vitesse [m/s]	Vitesse [km/h]	Energie [KJ]
	#DIV/0!	#DIV/0!	0	100	44	159	5494
Diamètre moyen du projectile [cm]	156						
Energie [KJ]	5494						

Figure 8 - Description du projectile dans le prototype de RockFor^{NET}

Après avoir décrit le projectile, il faut décrire le versant concerné par le phénomène ainsi que le peuplement forestier moyen présent sur le secteur d'étude (Cf. Fig. 9)

Etape 2 : Données relatives à la pente			
Entrer la pente moyenne en °	40		
Entrer la distance planimétrique d'arrêt souhaitée [m]	250		
Calcul de la distance équivalente le long de la pente	326		
Etape 3 : Description du peuplement			
		Equivalent pour 1 ha planimétrique	
Taper le diamètre moyen [cm]	35		
Taper la densité à l'hectare sur la pente	500	653	
Taper la surface terrière mesurée au Relascope de Bitterlich (G planimétrique) [m ²]			
Surface terrière calculée à partir des données saisies [m ²]	48	63	
Différence G Relascope - calculée [m ²]	-63		
Calcul du diamètre de l'arbre moyen à partir de G planimétrique	0		
Choix de l'essence majoritairement présente : taper 1 dans la cellule correspondante	Pin à crochet	Cèdre	Pin maritime
	0	0	0
			1

Figure 9 - Description du versant dans Rockfor^{NET}

La dernière étape de calcul de l'ARP est réalisée automatiquement par la feuille de calcul. La figure suivante présente un extrait du tableau de présentation des résultats dans le prototype.

Energie maximale dissipable lors d'un impact avec un arbre moyen du peuplement présent [en KJ]													
Diamètre de l'arbre moyen actuel [en c]	Pin à crochet	Cèdre	Pin maritime	Epicéa	Mélèze	Sapin (essence de référence)	Pin noir	Pin sylvestre, douglas, érable	Frêne	Merisier charme	Hêtre	Chêne	Robinier
35	112	114	122	153	154	170	190	192	253	261	283	370	465
Nbre d'arbre mini à impacter pour dissiper l'énergie fixé par l'utilisateur	83	82	76	61	60	55	49	49	37	36	33	25	20
Risque résiduel	66%	66%	63%	54%	54%	49%	43%	43%	26%	24%	17%	-4%	-31%
Distance planimétrique nécessaire pour RR = 0	738	725	674	545	545	491	440	440	337	328	302	240	191
Distance long de la pente	963	946	880	712	712	641	574	574	439	428	395	313	249

Figure 10 - Le tableau final de présentation des résultats obtenus avec Rockfor^{NET}

Le prototype outil a été testé et validé pour 3 sites :

- celui expérimental de Vaujany
- celui des Egravats (63) , pour lequel des phénomènes passés de chutes de pierres en forêt ont été décrits.
- Celui de Täschufer (Canton du Valais, Suisse)

Malgré ces premières validations, l'outil que nous avons construit est encore en développement (ergonomie informatique) et nécessite d'être testé sur d'autres sites avant de le proposer aux gestionnaires.

III- Développement d'un outil en accès libre sur internet

La vocation de cet outil de diagnostic rapide à l'échelle d'un versant guide est d'être pragmatique et de ne pas nécessiter d'investigations complexes et longues. En effet, dans le cas contraire, il serait inutilisable dans le cadre d'un diagnostic préliminaire rapide pour l'aide à la décision des experts. Dans ce contexte l'utilisation de cet outil est rapproché de celle du principe de la ligne d'énergie (Evans and Hungr, 1993) et des développements informatiques associés (i.e CONEFALL 2003).

Nous avons donc décidé de convivialiser le prototype et ainsi de développer un outil utilisable gratuitement via internet.

Les figures 11, 12, 13, 14 ,15 et 16 sont des copies d'écran de la page www.rockfor.net et qui permet d'utiliser cet outil de diagnostic.

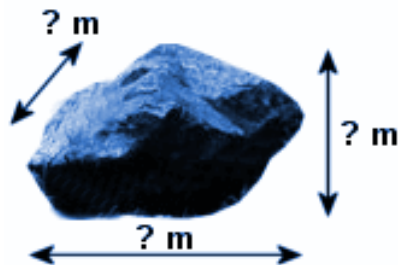


Figure 11 – Schéma explicatif pour décrire le projectile

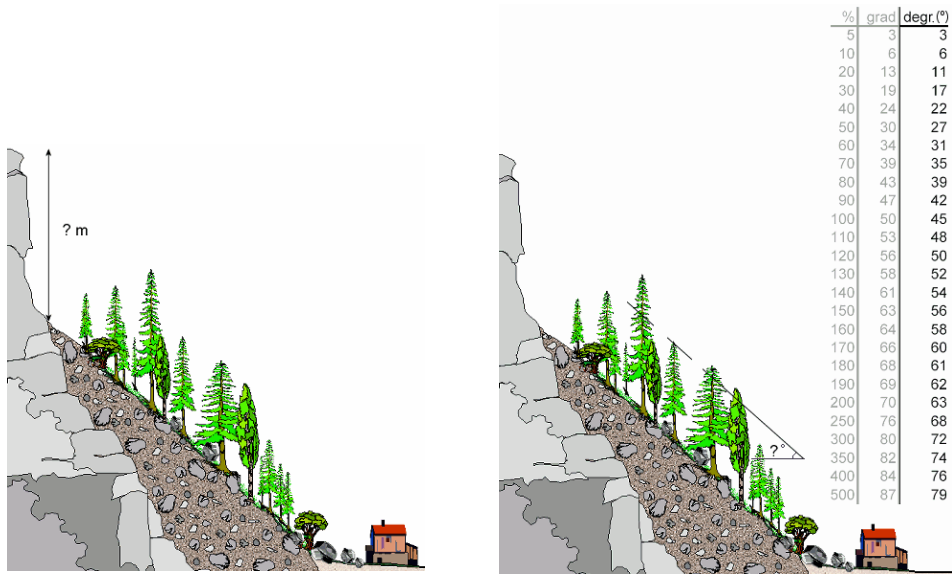


Figure 12 et 13 – Schémas explicatifs décrivant la hauteur de chute initiale et la valeur de la pente du versant

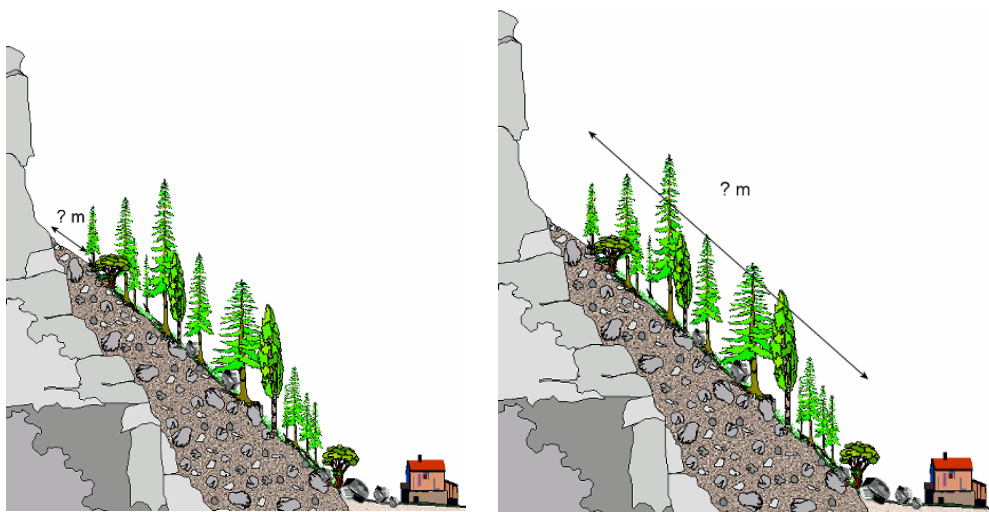




Figure 14 et 15 – Schémas explicatifs décrivant la distance d'entrée dans la zone boisée et la longueur de la zone boisée.





[English version](#)
[Deutsche Version](#)

Rockfor^{NET} donne une estimation de l'aléa résiduel probable de chutes de pierres (ARP) à l'aval d'une forêt. L'ARP est le pourcentage des blocs sortant de l'écran forestier. Pour une pente donnée le calcul de l'ARP nécessite de remplir le formulaire ci-dessous. Le point (.) doit être utilisé comme séparateur décimal.

Description du projectile

Diamètres du bloc (3x) (schéma) m

Géologie -

Forme du bloc -

Description du versant

Pente moyenne en degrés (schéma) °

Hauteur max. de la falaise (schéma) m

Longueur de la zone boisée (schéma) m

Distance d'entrée dans la zone boisée (schéma) m

Description de la zone boisée

Diamètre moyen à hauteur de poitrine (DHP) cm

Nbr. d'arbres à l'hectare ha⁻¹


Répartition des essences présentes :

- Sapin (*Abies alba*) %
- Mélèze (*Larix decidua*) %
- Epicéa (*Picea abies*) %
- Pin noir (*Pinus nigra*) %
- Pin sylvestre (*Pinus sylvestris*) %
- Erable (*Acer pseudoplatanus*) %
- Hêtre (*Fagus sylvatica*) %
- Robinier faux-acacia (*Robinia pseudoacacia*) %
- Chêne (*Quercus robur*) %

Calcul de l'aléa résiduel probable de chutes de pierres

Aléa résiduel probable ≤ 0 %
Densité requise = **0 arbres par ha**
DHP moyen objectif = **cm**

Données utilisées pour le calcul
Diamètre du bloc = 0 m
Volume du bloc = 0 m³
Densité du rocher = 0 kg m⁻³
Masse du bloc = 0 kg
Energie cinétique = 0 kJ
DHP = 0 cm
Distance maximale = 0 m



Rockfor^{NET} est un outil de calcul probabiliste qui donne une estimation globale de l'ARP. Pour cette raison, c'est un outil d'aide à l'expertise et nous ne pourrions en aucun cas être tenu responsable de l'usage des informations calculées par Rockfor^{NET}.

Figure 16 – La feuille de calcul ROCKFOR.^{NET} disponible sur internet

Mais avant d'avoir ouvert l'accès à cette page web nous avons testé et validé à la fois la robustesse de cet outil de calcul et son bon fonctionnement

IV- Validation à partir de cas réels et d'autres expériences

Nous avons inventorié 5 sites sur lesquels des chutes de pierres ont eu lieu. La sélection des sites a été basée sur la possibilité de reconstruire au mieux les trajectoires des projectiles et de réaliser une numération de ceux-ci. Malgré ces modalités de choix, le dénombrement des projectiles qui se sont réellement propagé sur les versants étudiés s'est avéré délicat et difficile à réaliser. C'est la raison pour laquelle nous avons recherché dans la littérature scientifique des données relatives à d'autres expériences grandeur nature réalisées de par le passé. En 1997 nous avons réalisé une étude de faisabilité de suivi vidéoographique de chutes de pierres. A cette occasion nous avons réalisé, sans présager de l'avenir, une base de données contenant entre autre les informations nécessaires pour utiliser ROCFOR.^{NET}. Notre étude bibliographique a permis de récupérer des informations pour deux autres sites d'études situés à l'étranger. Le tableau 1 présente les données d'entrées ainsi que les résultats observés et ceux calculé avec notre utilitaire.

Tableau 1. Données observées, paramètres d'entrées de ROCKFOR^{NET}, et ARP observés et calculés.

Localisation date	et	Caractéristiques du site			Paramètres forestiers				Description des projectiles		ARP		
		Hauteur de chute (m)	Pente (°)	Distance d'entrée en forêt (m)	Longueur de la zone boisée (m)	Densité (ha ⁻¹)	G (m ² ha ⁻¹)	DHP (cm)	Composition	Diam. moyen (m)	Nature et forme	ARP obs. (%)	ARP calc. Rockfor ^{NET} (%)
Savournon (F) 05/04/2006		49	28	0	525	1534	29.6	16	Quercus sp. 5% Fagus syl. 95%	2.84	Calcaire, rectangulaire	66	85
St. Martin le Vinoux (F) 06/08/1987, (Bigot, 2006)		20	35	0	270	800	16.1	16	Quercus sp. 80% Pinus ni. 20%	1	Calcaire, rectangulaire	75	78
Lumbin (F) 07/01/2002		50	32	0	707	1080	23.3	17	Quercus sp. 5% Acer ps. 62% Robinia ps. 8%	2.35	Calcaire, rectangulaire	100	88
Le Fontanil (F) 1998, (inventory; Crenn, 1999)		30	32.8	0	148	2750	34.8	13	Quercus sp. 65% Fagus syl. 25% Acer ps. 10%	1.25	Calcaire, rectangulaire	25	26
Diemtigtal (CH) 2001, (inventory; Stoffel et al., 2006)		50 - 350	40	0	90	523	20.1	22	Picea ab. 97% Acer ps. 3% (estimated)	0.15	Calcaire, rectangulaire	< 5	4 (moyenne)
Vailly (FR) 1997, (experiment; Doche, 1997)		0	38	0	140	485	38.7	28	Picea ab. 48% Abies alb. 16% Acer ps. 21% Fagus syl. 15%	0.87	Granit, sphérique	34	35
Balzers (LI) 1987, (experiment; Jahn, 1988)		0	35.5	0	161	3400	-	13	Fagus syl. 50% Picea ab. 25% Pin. sylv. 25%	0.28	Calcaire, sphérique	0	1

V- Résultat, conclusion et discussion

Le choix d'avoir basé le principe général de calcul de ROCKFOR. NET sur la surface terrière a été dicté par la relation linéaire qui existe entre la surface terrière interceptée et la distance d'arrêt des blocs rocheux. La bonne corrélation entre la surface terrière réellement interceptée et celle théoriquement interceptable sur notre site de Vaujany, nous a servi de base pour construire notre indicateur du niveau de protection offert par une zone boisée et que nous avons dénommé l'Aléa Résiduel Probable. Bien que cet utilitaire ait été élaboré à partir d'un seul site d'étude, nous pouvons au regard des travaux de test et validation effectués conclure que 1) il a été capable d'estimer l'ARP des sites tests avec un bon intervalle de confiance et que 2) le principe utilisé est valide. L'erreur maximale est de 19% et l'erreur quadratique moyenne (RMSE) de 9.3%. En utilisant des classes de 25% (0 – 25% ... 75% - 100%), notre utilitaire est en mesure de d'estimer correctement 1) si des blocs rocheux sont capables de franchir un écran forestier et 2) la perméabilité d'une zone boisée au regard de chutes de pierres et de blocs.

Etant donné que cet utilitaire s'avère valide, nous l'avons traduit en anglais, allemand et italien.

En complément à cette conclusion les points forts de cet utilitaire sont :

- que les utilisateurs n'ont pas besoin de calibrer ce "modèle". Seules les données relatives à la description générale du versant étudié sont nécessaires.
- qu'il permet de réaliser rapidement un diagnostic forestier quant à la protection offerte par la couverture forestière présente sur un site
- qu'il permet, en fonction des caractéristiques des projectiles, d'identifier le type de peuplement forestier offrant une protection optimale et ainsi de déterminer si oui ou non le forestier pourra obtenir ce peuplement idéal par des interventions sylvicoles ciblées.

Comme pour tout « modèle », plus cet utilitaire sera utilisé plus nous pourrons l'améliorer en tenant compte du « feed-back » des utilisateurs. C'est pour cette raison que nous avons 1) mis en place un système de comptabilité du nombre de fois où il est utilisé 2) nous demandons dans un premier temps aux utilisateurs de nous contacter si les résultats obtenus leur semble aberrants 3) nous allons mettre en ligne un formulaire permettant de recueillir les valeurs des paramètres utilisés afin d'identifier et de comprendre les situations pour lesquelles l'ARP est en désaccord avec les données observées.

Il faut préciser que cet utilitaire ne fonctionne et ne peut fonctionner actuellement que pour des zones boisées. Toutes utilisations réalisées en dehors de ce contexte forestier n'engagent que l'utilisateur. De plus, l'ARP minimal a été fixé à 1% car le risque 0% n'existe pas tout comme il n'existe pas de protection à 100%

Références

- Bigot, C. 2006: Regard critique sur une forêt à fonction de protection contre les chutes de blocs - Retour d'expérience à St. Martin le Vinoux (Isère). MSc thesis Cemagref / IGA-UJF, unpublished report, Grenoble, 78 p.
- Bitterlich, W. 1984: The relascope idea: relative measurements in forestry. Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal, UK, 242 p.
- Brang, P. 2001: Resistance and elasticity: promising concepts for the management of protection forests in the European Alps. *For. Ecol. Manage.*, 145: 107–119.
- Brauner, M.; Weinmeister, W.; Agner, P.; Vospernik, S.; Hoesle, B.; 2005: Forest management decision support for evaluating forest protection effects against rockfall. *For. Ecol. Manage.* 207, 1-2: 75-85.
- Broilli, L. 1974: Ein Felssturz in Großversuch. *Rock Mech.*, Suppl. 3: 69-78.
- Crenn, R. 1999: Influence exercée par la forêt exploitée en taillis sur la dynamique du phénomène de chutes de pierres – analyse retrospective des traces d'un événement récent sur la commune du Fontanil-Cornillon (38). MSc thesis Cemagref / IGA-UJF, unpublished report, Grenoble, 54 p.
- Doche, O. 1997: Etude expérimentale de chutes de blocs en forêt. Cemagref / Institut des Sciences et Techniques de Grenoble (ISTG), Cemagref doc. 97/0898, unpublished report, 130 p.
- Dorren, L.K.A.; Berger, F. 2006: Stem breakage of trees and energy dissipation at rockfall impacts. *Tree Physiol.* 26: 63-71.
- Dorren, L.K.A.; Berger, F.; Putters, U.S. 2006: Real size experiments and 3D simulation of rockfall on forest slopes. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 6: 145-153.
- Dorren, L.K.A.; Berger, F.; Le Hir, C.; Mermin, E.; Tardif, P. 2005: Mechanisms, effects and management implications of rockfall in forests. *For. Ecol. Manage.* 215, 1-3: 183-195.
- Erismann, T.H.; Abele, G. 2001: Dynamics of rockslides and rockfalls. Springer-Verlag, Berlin, 316 p.
- Evans, S.G.; Hungr, O. 1993: The assessment of rockfall hazard at the base of talus slopes. *Can. Geotech. J.* 30: 620-636.
- Frehner, M.; Wasser, B.; Schwitter, R. 2005: Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald. Wegleitung für Pflegemassnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion. Bern, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, 654 pp.
- Gauquelin, X.; Courbaud, B.; Ancelin, P.; Barthelon, C.; Berger, F.; Cardew, M.; Chauvin, C.; Descroix, L.; Dorren, L.; Fay, J.; Gaudry, P.; Genin, J.-R.; Joud, D.; Loho, P.; Mermin, E.; Plancheron, F.; Prochasson, A.; Rey, F.; Rubeaud, D.; Wlérick, L. 2006: Guide des sylvicultures de montagne. Cemagref/CRPF Rhône-Alpes/ONF, France, 289 pp.
- Gerber, W. 1998: Waldwirkung und Steinschlag. In: Schwitter, R. (Ed.): Dokumentation der 14. Arbeitstagung der Schweizerischen Gebirgswaldpflegegruppe mit der FAN 1998, unpublished report, Grafenort / Engelberg: 1-15.
- Gsteiger, P. 1993: Steinschlagschutzwald. Ein Beitrag zur Abgrenzung, Beurteilung und Bewirtschaftung. *Schweiz. Z. Forstwes.* 144: 115–132.
- Heim, A. 1932: Bergsturz und Menschenleben. *Beiblatt Vierteljahrschrift Naturforsch. Gesell. Zürich*, 77: 218.
- Jahn, J. 1988: Entwaldung und Steinschlag, International Congress Interpraevent, Graz. *Conf. Proc. Vol. 1*: 185-198.
- Kienholz, H.; Mani, P. 1994: Assessment of geomorphic hazards and priorities for forest management on the Rigi north face, Switzerland. *Mt. Res. Dev.* 14: 321-328.
- Le Hir, C. 2005: Forêt et chutes de blocs : méthodologie de modélisation spatialisée du rôle de protection. PhD Thesis, Cemagref / Université de Marne-La-Vallée, 195 pp.
- Meißl, G. 1998: Modellierung der Reichweite von Felsstürzen. Fallbeispiele zur GIS-gestützten Gefahrenbeurteilung aus dem Beierischen und Tiroler Alpenraum. PhD Thesis, Universität Innsbruck, Innsbruck, 249 pp.
- Ott, E. 1978: Zur Notwendigkeit der Pflege von Gebirgswäldern. *Schweiz. Z. Forstwes.* 129, 2: 101–116.

- Perret, S.; Dolf, F.; Kienholz, H. 2004: Rockfalls into forests: Analysis and simulation of rockfall trajectories — considerations with respect to mountainous forests in Switzerland. *Landslides* 1, 2: 123-130.
- Schwitter, R. 1998: Zusammenfassung und Schlussfolgerungen, In: Schwitter, R. (Ed.): Dokumentation der 14. Arbeitstagung der Schweizerischen Gebirgswaldpflegegruppe mit der FAN 1998, unpublished report, Grafenort / Engelberg: 1-5.
- Selby, M.J. 1982: Hillslope materials and processes. Oxford University Press, New York, 264 p.
- Spang, R.M.; Sönser, T. 1995: Optimized rockfall protection by "ROCKFALL". In: Fuji, T. (Ed.), Proceedings of the 8th International Conference on Rock Mechanics, 25-30 September 1995, Tokyo, Japan: 1233-1242.
- Stoffel, M.; Wehrli, A.; Kühne, R.; Dorren, L.K.A.; Perret, S.; Kienholz, H. 2006: Assessing the protective effect of mountain forests against rockfall using a 3D simulation model. *For. Ecol. Manage.* 225: 113-222.
- Toppe, R. 1987: Terrain models - A tool for natural hazard mapping. In: Salm, B. and Gubler, H., (Eds.): *Avalanche formation, movement and effects*, IAHS Publication nr. 162: 629-638.
- Wasser, B.; Frehner, M. 1996: Minimale Pflegemassnahmen für Wälder mit Schutzfunktion. *Wegleitung*. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern.
- Zinggeler, A. 1990: Steinschlagsimulation in Gebirgswäldern: Modellierung der relevanten Teilprozesse. MSc. Thesis, University of Bern, unpublished report, Bern, 116 p.