

4 Chutes de pierres

4.1 Profil d'exigences pour la forêt en rapport avec les chutes de pierres

4.2 Processus liés aux chutes de pierres

4.3 Zone de déclenchement

4.4 Zone de transit

4.5 Zone d'atterrissement et de dépôt

4.6 Indications complémentaires sur les effets de la forêt

4.1 Profil d'exigences pour la forêt en rapport avec les chutes de pierres

Lieu	Effet potentiel de la forêt	Exigences en fonction du danger profil minimal	Exigences en fonction du danger profil idéal
Zone de déclenchement	Moyen	Éléments stabilisateurs Pas d'arbre instable, ni lourd	
Zone de transit, d'atterrissement et de dépôt	Grand	<p style="text-align: center;">Nombre de tiges et surface terrière</p> <p>Surface terrière cible (≥ 8 cm DHP) et nombre de tiges correspondants par classe de diamètre voir l'outil Internet : http://www.gebirgswald.ch/fr/steinschlag-tool.html</p> <p>L'évaluation doit être effectuée pour toute la zone boisée.</p> <p style="text-align: center;">Pour les trouées¹</p> <ul style="list-style-type: none"> - Distance entre les troncs dans la ligne de pente < 40 m - Pour les ouvertures en fentes > 20 m : souches hautes (env. 1.3 m) et tous les 10 m au moins 2 arbres couchés avec un diamètre \geq taille de la pierre, en biais par rapport à la ligne de pente <p style="text-align: center;">Arbres couchés et souches hautes (env. 1.3 m) comme complément aux arbres sur pied</p>	
		Exigences minimales remplies en fonction du type de station	Exigences idéales remplies en fonction du type de station

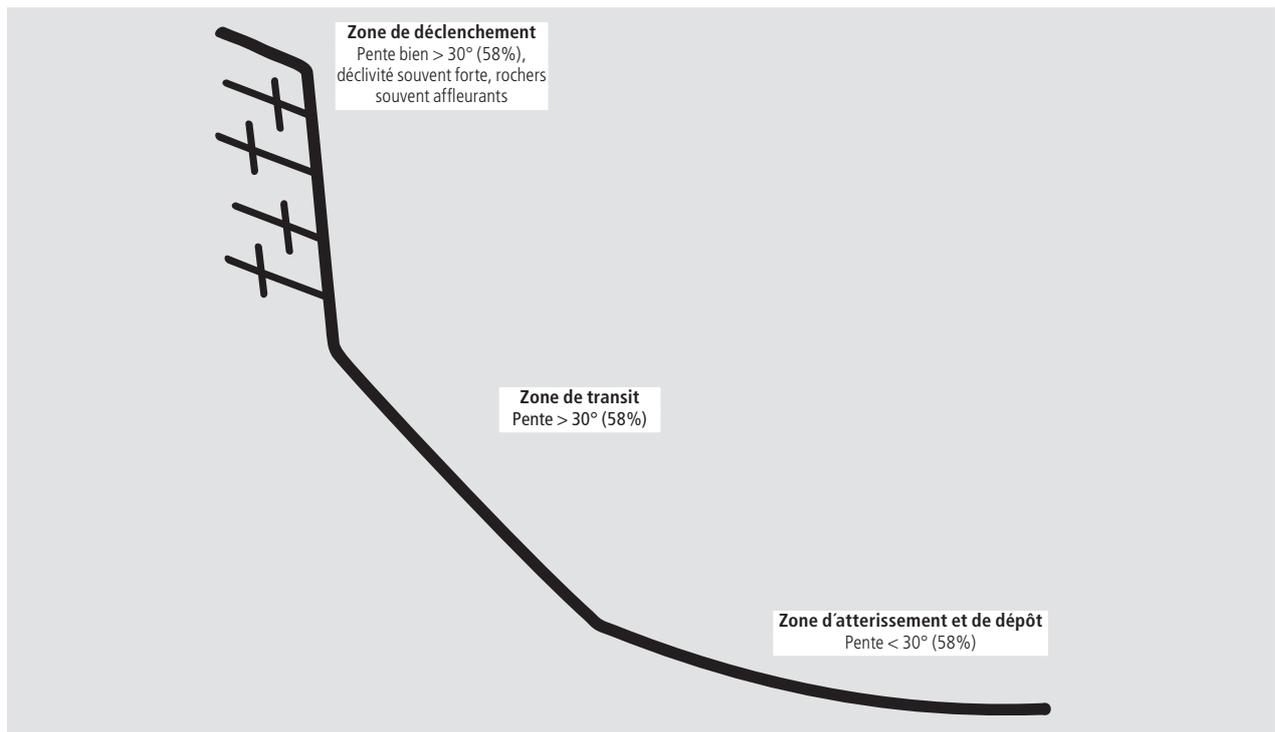
¹ Trouée : distance de tronc à tronc, dans le perchis et dans la futaie

4.2 Processus liés aux chutes de pierres

La notion de chutes de pierres recouvre aussi bien la chute des pierres proprement dite que leurs interactions avec l'environnement. Les pierres roulent, sautent ou glissent, évoluant en types de mouvement qu'il est possible de bien décrire. Durant leur déplacement, les pierres retombent sur le

sol ou heurtent des obstacles, par exemple des arbres ou des ouvrages de protection. Ce faisant, elles perdent de l'énergie.

Les processus liés aux chutes de pierres se déroulent successivement dans trois zones : zone de déclenchement, zone de transit et zone d'atterrissement et de dépôt. Ces zones se recoupent souvent. En plus des chutes de pierres, on observe fréquemment aussi des chutes de glace.



Ill. 5: Schéma du processus

4.3 Zone de déclenchement

Importance dans les processus liés aux chutes de pierres

C'est dans cette zone que les pierres se détachent. Les dimensions et la forme des pierres ainsi que la fréquence des chutes dépendent de la nature de la roche, de sa stratigraphie, de l'exposition et de l'altitude. La (re-)mobilisation des pierres au sol peut occasionner des chutes de pierres sur des pentes > 35°.

Effets de la forêt

Les racines des arbres retiennent les pierres. Mais elles peuvent aussi exercer une action négative en accélérant l'altération des roches par les suintements d'acides orga-

niques produits par les racines et par la litière d'aiguilles. Les racines peuvent également croître dans les fentes et favoriser la dislocation ultérieure des roches sous l'action du gel. L'effet des phénomènes d'altération est plus fort lorsque les couches géologiques sont parallèles à la pente que lorsqu'elles y sont perpendiculaires. Les pierres peuvent se mettre en mouvement lorsque des arbres sont déracinés. Le vent peut agiter si fortement les arbres, notamment quand ils dépassent 20 m de hauteur, que le mouvement des racines disloque les pierres.

Les effets de la forêt dépendent de la géologie, de la topographie, des essences, du poids des arbres, de leur centre de gravité et de leur hauteur.

4.4 Zone de transit

Importance dans les processus liés aux chutes de pierres

Entre 30° (58%) et 35° (70 %) de déclivité, les pierres roulent ou glissent ; au-dessus de 35° (70 %), elles peuvent aussi rebondir. Il est possible de calculer ces mouvements de façon assez précise. Au contact du sol ou des obstacles, les pierres perdent de l'énergie (énergie = masse x vitesse²) et peuvent aussi changer de direction. Aujourd'hui encore, il est difficile de calculer la valeur des déperditions d'énergie. Les pierres peuvent être stoppées par les obstacles, mais elles peuvent aussi se remettre en mouvement par la suite.

Outre la forêt et les ouvrages de protection, les éléments suivants sont aussi en mesure de freiner les pierres :

- ▶ La topographie : dans un relief tourmenté, les pierres sont souvent déviées. Plus la pente est douce et plus la vitesse des pierres est faible.
- ▶ La rugosité du terrain : lorsque les irrégularités du terrain indiquent une dimension proche de celle des pierres, celles-ci sont fortement freinées (pierriers, cônes de déjection)
- ▶ Amortissement : les blocs sont fortement freinés lorsque le sol est meuble

Dans des conditions identiques, les pierres sphériques atteignent des vitesses plus élevées que les pierres anguleuses ou allongées.

Longueur de la zone de transit

L'effet de la forêt peut être efficace à condition que les zones de transit ou d'atterrissement aient une longueur minimale. Pour autant que la zone de transit soit courte (< 75 m), qu'il manque une zone d'atterrissement, que le diamètre des pierres soit faible et que les essences soient appropriées, il peut être recommandé de recourir au taillis, en plus de l'utilisation des francs pieds. Lorsque la zone de transit est longue, le rôle de la forêt est spécialement important à proximité de la zone de déclenchement. Il s'agit en effet de stopper les pierres avant qu'elles ne prennent trop de vitesse. Il faut aussi prendre les chutes de glace en considération, notamment pour une zone de transit courte.

Effets de la forêt

Les impacts avec les arbres freinent les pierres ou les arrêtent provisoirement. Le freinage entraîne aussi une réduction de la hauteur des rebonds. L'effet des arbres dépend de la surface terrière rencontrée par la pierre sur sa trajectoire. Cette surface terrière dépend du nombre de tiges, de la distribution des diamètres et de la longueur boisée. De plus, l'énergie et la taille des pierres sont déterminantes :

- ▶ Les arbres peuvent, selon l'énergie des pierres (qui se calcule en fonction de leur masse et de leur vitesse), être blessés ou cassés. Ces impacts diminuent la vitesse des pierres et donc leur énergie de façon significative.
- ▶ Les arbres de petits diamètres sont écartés par les pierres : l'effet seul de ces arbres est petit. Par contre, ils sont importants pour augmenter la probabilité d'impact et ils peuvent également arrêter des gros blocs, après des impacts sur les arbres de diamètre important. En collectif, ces arbres de petits diamètres peuvent être très efficaces et stopper des pierres avec des énergies faibles (en particulier dans la zone d'atterrissement et de dépôt).
- ▶ Pour des blocs très grands (> 5 m³), la forêt peut également jouer son rôle de protection; bien évidemment, pour une réduction pertinente d'énergie et de risque, une longueur boisée conséquente est requise.
- ▶ Les souches hautes contribuent à freiner ou à stopper les pierres. Dans la forêt protectrice en rapport avec les chutes de pierres, les souches devraient être laissées le plus haut possible (hauteur env. 1.3 m).

Le *degré de protection actuel* de la forêt, calculée par l'outil internet, ne peut pas être appréciée, respectivement évaluée, sans relation avec la réduction du risque requise au niveau de l'enjeu. Par exemple, même un effet de protection faible de la forêt pourrait suffire pour réduire le risque à un niveau acceptable.

Longueur des trouées

Pour le processus des chutes de pierres, le nombre ainsi que la distribution des obstacles sont en générale plus importants que les longueurs des trouées dans la ligne de pente. Ces facteurs sont pris en compte dans la surface terrière et dans le nombre de tiges. Par contre, pour de grandes ouver-

tures en forêt, l'effet de la longueur de la trouée est significatif sur le processus de chutes de pierres. Les pierres peuvent atteindre leur vitesse maximale après un parcours de 40 m déjà et, selon le terrain, franchir de grandes distances en rebondissant. Cela signifie que la forêt située en amont d'une ouverture de plus de 40 m dans la ligne de pente n'a qu'une influence négligeable sur les pierres qui franchissent cette trouée et atteignent la forêt située en aval.

Comme la distance sans obstacle à l'intérieur d'une forêt varie fréquemment sur une petite surface, une longueur maximum de trouée a été définie pour le forestier. Celle-ci devrait toujours rester aussi petite que possible. Toutefois, il est démontré que la longueur maximale de 20 m valable jusqu'à présent ne pouvait être respectée dans tous les cas; en particulier dans des hêtraies en station favorable, il faut des ouvertures plus grandes pour la régénération. En conséquence, des trouées plus grandes que 20 m dans la ligne de pente sont désormais admises, à condition que les mesures d'accompagnement suivantes sont exécutées :

- ▶ La distance maximale de tronc à tronc est de 40 m.
- ▶ Les souches coupées ont une hauteur d'env. 1.3 m.
- ▶ Les arbres couchés sont efficaces : dans la ligne de pente, chaque 10 m au moins 2 arbres couchés avec un diamètre \geq taille de la pierre et idéalement avec un angle d'env. 70° par rapport à la ligne de pente.

4.5 Zone d'atterrissement et de dépôt

Importance dans le processus des chutes de pierres

La vitesse des pierres diminue même en l'absence de collisions avec des obstacles. Alors que les pierres peuvent rouler longtemps sur une pente comprise entre 25° (45%) et 30° (58%), elles s'arrêtent en général rapidement au-dessous de 25° (45%). Les pierres qui s'arrêtent d'elles-mêmes ne se remettent pas en mouvement. Les facteurs qui contribuent à freiner les pierres sont les mêmes que ceux mentionnés dans la zone de transit.

Effet de la forêt

En principe, l'effet des arbres est le même que dans la zone de transit. Un grand nombre d'arbres sur pied et de souches hautes (env. 1.3 m) conduit à de nombreux contacts entre les pierres et les arbres. C'est pourquoi il faut viser les mêmes objectifs forestiers que dans la zone de transit.

4.6 Effet des arbres couchés

Les arbres couchés ont un effet positif, pour autant que ceux-ci ne représentent pas eux-mêmes un danger et qu'il n'y ait pas de grosses accumulations de pierres dans les zones de déclenchement et de transit. Etant donné que dans la zone d'atterrissement le mouvement des pierres passe du rebond au roulement, l'effet des bois au sol est particulièrement efficace.

Le risque de mise en mouvement des arbres couchés augmente avec la déclivité, l'état du bois façonné (écorcé, ébranché) et l'action de la neige. Si ce risque existe, ces arbres doivent être impérativement sécurisés. Cela doit être évalué sur le terrain. Comme tout autre ouvrage de protection, les arbres couchés doivent être périodiquement contrôlés et entretenus. Des pierres dangereuses doivent être éventuellement évacuées ou éclatées de manière contrôlée.

Les arbres couchés augmentent la rugosité du terrain. Les pierres stoppées restent définitivement immobilisées. Cet effet est le plus grand si le diamètre du tronc est égale ou plus grand que la taille de la pierre déterminante. Si les arbres sont déposés en biais (idéalement env. 70°) par rapport à la ligne de pente, les pierres vont être freinées et déviées la plupart du temps. En comparaison avec les arbres couchés perpendiculairement, la probabilité d'impact augmente. Les arbres couchés peuvent aussi protéger le peuplement contre les blessures. Si les arbres sont déposés en biais par rapport à la ligne de pente, ils peuvent contribuer à canaliser les pierres.

Les souches renversées augmentent la rugosité du terrain et leur effet est donc en principe positif. Des problèmes peuvent survenir lorsque ces souches contiennent des pierres d'une certaine dimension. Celles-ci sont libérées lorsque la souche se décompose et peuvent alors devenir une nouvelle source de chutes de pierres (cas fréquents par exemple dans le Jura). Les souches séparées du tronc peuvent en outre se mettre en mouvement. Ce problème peut être pratiquement éliminé si la découpe du tronc est faite à plus de 4 m de la souche.

Les tas de branches améliorent l'effet d'amortissement et améliorent ainsi l'effet protecteur.

4.7 Indications complémentaires sur les effets de la forêt

Soins aux forêts – ouvrages de protection

Des soins sylvicoles ciblés peuvent permettre de remplacer des ouvrages de protection ou du moins de les redimensionner en fonction de la hauteur réduite des rebonds et d'un déploiement d'énergie plus faible.

Pourriture

Les arbres blessés peuvent être attaqués par la pourriture (après un délai de 10 ans environ pour l'épicéa et le hêtre). La pourriture n'attaque pas le bois de recouvrement produit en réaction à une blessure.

Rejets de souche

Si les pierres sont de petite taille, un diamètre de 12 cm suffit déjà à assurer l'effet protecteur dans les zones d'atterrissement et de dépôt, ainsi que dans la zone de transit. Dans ces cas, il peut être indiqué d'utiliser aussi des rejets de souches, si l'on dispose d'essences appropriées et si la longueur de la zone de transit est courte (< 75 m). Les rejets croissent en effet très rapidement au début et atteignent un DHP efficace en peu d'années. Il faut veiller à couper les rejets proprement et très bas, afin que non seulement les tiges, mais aussi les racines puissent se régénérer. Comme dans les trouées, l'intervalle entre les troncs ne doit pas dépasser 20 m dans la ligne de pente, il n'est pas possible d'opérer des coupes de taillis d'un seul tenant. Lors de ces coupes, on doit se limiter à des bandes dont la largeur ne dépasse pas 20 m dans la ligne de pente. L'utilisation des rejets de souche implique un travail de suivi intensif. Il faut exploiter la surface régulièrement et on peut moins compter sur les forces de régulation naturelles qu'on ne le fait dans les peuplements étagés. Le régime du taillis est par conséquent surtout indiqué lorsque la distance entre la zone de déclenchement des chutes de pierres et les enjeux est faible (< 75 m).

Bois mort sur les surfaces de chablis

Le bois qui reste sur les surfaces de chablis non évacuées offre une protection très efficace contre les chutes de pierres. Le relief constitué par les arbres secs sur

le pied, les restes de troncs dressés, les assiettes et les troncs couchés constituent une superstructure haute de plusieurs mètres. Cette rugosité est capable d'empêcher le départ des pierres de petite et moyenne dimensions pendant plusieurs décennies et de stopper celles qui sont en mouvement. Seules les très grosses pierres peuvent, par leur poids, traverser le réseau de bois mort. Le nettoyage de ces surfaces diminue sensiblement leur effet protecteur contre les chutes de pierres.

Topographie

Dans l'analyse des processus de chutes de pierres, il faut tenir compte des particularités topographiques locales. Dans la zone de transit, on peut profiter de petits replats comme zones de dépôt ; à ces endroits, les bois au sol sont très efficaces. À l'inverse, il faut aussi repérer les petites zones de déclenchement (p. ex. : pierriers instables, petits éperons rocheux), ainsi que les micro-couloirs de chutes de pierres.

Sources : Les données concernant les chutes de pierres ont été rassemblées par Luuk Dorren (OFEV), Monika Frehner (ETH) et Werner Gerber (WSL) (révision mars 2014), avec le conseil du Groupe suisse de sylviculture de montagne GSM, Stéphane Losey (OFEV), Frédéric Berger (IRSTEA), Kaspar Zürcher et Jean-Jacques Thormann (HAFL-BFH), ainsi que Markus Huber (WSL).

Publications consultées : Leibundgut (1993), Gsteiger (1995), GWG/FAN-Dokumentation (1998), Dorren et al. (2005), Berger et Dorren (2007).