

2 Avalanches

- 2.1 Profil d'exigences pour la forêt en rapport avec les avalanches
- 2.2 Formation des avalanches
- 2.3 Forêts de protection contre les avalanches
- 2.4 Effets exercés par la forêt

1

2.1 Profil d'exigences pour la forêt en rapport avec les avalanches

Lieu	Effet potentiel de la forêt	Exigences en fonction du danger naturel profil minimal	Exigences en fonction du danger naturel profil idéal
Zone de déclenchement Forêts résineuses des étages subalpin et haut-montagnard	Grand: - dans les forêts de mélèzes dès 30° (58 %) de déclivité - dans les forêts de résineux à aiguilles persistantes ¹ dès 35° (70 %) de déclivité	Structure horizontale: • Déclivité Longueur des trouées² dans la ligne de pente ≥ 30° (58 %) → < 60 m ≥ 35° (70 %) → < 50 m ≥ 40° (84 %) → < 40 m ≥ 45° (100 %) → < 30 m • Si la longueur de la trouée dépasse les indications ci-dessus, sa largeur doit être < 15 m • Degré de couverture > 50 % • Exigences minimales atteintes (en fonction du type de station)	Structure horizontale • Déclivité Longueur des trouées² dans la ligne de pente ≥ 30° (58 %) → < 50 m ≥ 35° (70 %) → < 40 m ≥ 40° (84 %) → < 30 m ≥ 45° (100 %) → < 25 m • Si la longueur de la trouée dépasse les indications ci-dessus, sa largeur doit être < 15 m • Degré de couverture > 50 % • Exigences minimales atteintes (en fonction du type de station)
	Moyen: dès 35° (70 %) de déclivité	Structure horizontale: • Déclivité Longueur des trouées² dans la ligne de pente ≥ 35° (70 %) → à 50 m ≥ 40° (84 %) → à 40 m ≥ 45° (100 %) → à 30 m • Si la longueur de la trouée dépasse les indications ci-dessus, sa largeur doit être < 5 m • Degré de couverture > 50 % • Exigences minimales atteintes (en fonction du type de station)	Structure horizontale • Déclivité Longueur des trouées² dans la ligne de pente ≥ 35° (70 %) → < 40 m ≥ 40° (84 %) → < 30 m ≥ 45° (100 %) → < 25 m • Si la longueur de la trouée dépasse les indications ci-dessus, sa largeur doit être < 5 m • Degré de couverture > 50 % • Exigences minimales atteintes (en fonction du type de station)
Zone de déclenchement Forêts feuillues et feuillues mélangées des étages montagnards supérieur et inférieur			

En favorisant la rugosité du terrain (p. ex. souches hautes, bois au sol) dans les trouées et en bordure des couloirs d'avalanches, on peut réduire le risque de déclenchement d'avalanches.

Concernant la longueur des trouées dans la ligne de pente, les exigences idéales peuvent être considérées comme identiques aux exigences minimales lorsque la rugosité est suffisante.

¹ Dans les forêts de résineux à feuillage persistant, la présence des couronnes et la rugosité générale du sol font que le déclenchement d'avalanches ne survient qu'à partir de 35° de déclivité. Mais dans les forêts pures de mélèzes, la rugosité du sol est diminuée par la forte présence d'herbes et il faut s'attendre à des déclenchements d'avalanches dès 30°.

²Trouée: ouverture mesurée entre les bords des houppiers (perchis et futaies)

2.2 Formation d'avalanches

Lorsque le terrain est en pente, le manteau neigeux est soumis à des mouvements de reptation, voire de glissement, qui sont fonction des caractéristiques de la zone de contact entre le sol et la neige. Ces mouvements, qui peuvent mener au glissement de toute la couche de neige, sont dépendants de:

- ▶ l'inclinaison du terrain
- ▶ l'épaisseur de la couche de neige
- ▶ la rugosité du sol
- ▶ la texture du manteau neigeux

Les changements locaux de ces facteurs entraînent la formation de zones où s'accroissent les forces de tension, de pression et de cisaillement.

Les **avalanches de plaques** prennent notamment naissance dans les conditions suivantes:

- ▶ déclivité de 30° ou davantage (58%)
- ▶ couches instables et/ou zones de glissement (ex.: couche de givre ou neige consolidée couverte de neige fraîche, surface du sol lisse)
- ▶ manteau neigeux formé de strates continues sans cohésion entre elles
- ▶ neige consolidée

L'action du vent favorise les accumulations locales de neige et la formation de neige consolidée.

Les **avalanches de neige meuble** se forment notamment dans les conditions suivantes:

- ▶ souvent sur des versants dont la déclivité est comprise entre 40° (85 %) et 60° (170 %). Les pentes plus fortes se déchargent de façon continue
- ▶ neige à faible cohésion

Avalanches en forêt

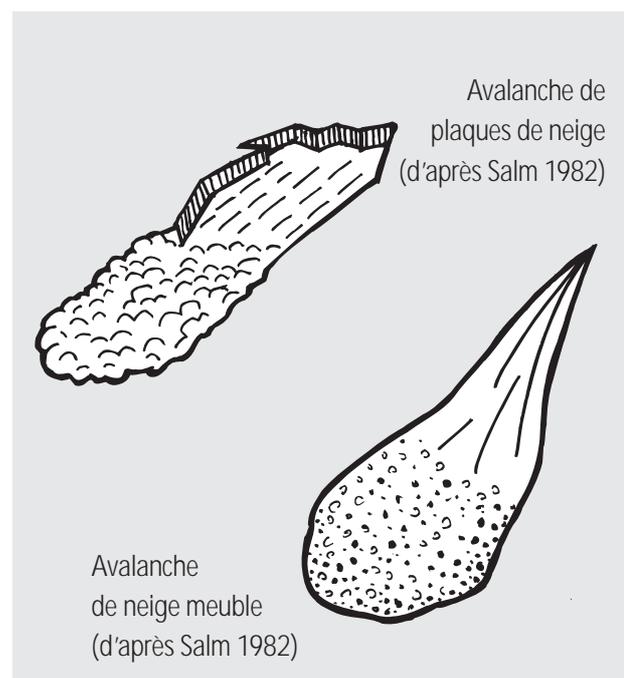
On parle d'avalanches en forêt lorsque la ligne de rupture est située en forêt. La dimension des trouées dans le peuplement est un des principaux facteurs déterminant le volume de neige en mouvement. Aux étages subalpin et haut-montagnard, les trouées à l'intérieur des peuplements font partie intégrante de la structure naturelle. Elles sont d'ailleurs nécessaires à la régénération. Il n'est donc pas possible d'exclure des mouvements du manteau neigeux dans ces zones. C'est

pourquoi seuls les événements susceptibles de provoquer des dégâts à partir du stade du perchis sont considérés comme avalanches en forêt. Les dégâts causés auxrajeunissements et aux fourrés sont dus au glissement, à la reptation et au tassement de la neige plus qu'à l'effet des avalanches.

Les caractéristiques suivantes de la météo et de la neige favorisent le déclenchement d'avalanches en forêt:

- ▶ moins de -4°C, plus de 120 cm de neige dont plus de 80 cm de neige en 2 jours, peu de vent pendant l'épisode neigeux, et un léger réchauffement le jour du déclenchement.
- ▶ moins de -4°C, plus de 60 cm de neige en 3 jours, peu de vent pendant l'épisode neigeux, fort réchauffement le jour du déclenchement
- ▶ plus de 120 cm de neige dont plus de 50 cm de neige fraîche en 3 jours, pluie.

Plus il fait froid et moins il y a de vent pendant qu'il neige et moins il faut de neige fraîche pour provoquer des avalanches en forêt.



Ill. 1: Types d'avalanches

2.3 Forêts de protection contre les avalanches

Les forêts de protection contre les avalanches sont des forêts situées sur des pentes de plus de 30° (58%), ainsi que dans des régions et à des altitudes où les conditions d'enneigement permettent les glissements de grandes plaques de neige ou la formation d'autres types d'avalanches.

À l'étage naturel des forêts résineuses et entre 1 600 et 2 200 m d'altitude, les zones de déclenchement sont fréquemment exposées du nord-est au nord-ouest. C'est à ces endroits que se détachent en général les plaques de neige sèche. La zone de rupture coïncide souvent avec une rupture de pente (variation de pente de 10° au moins).

Les avalanches observées à l'étage des forêts feuillues ou mélangées, donc au-dessous de 1 200 m d'altitude, se déclenchent surtout sur des versants ensoleillés. Il s'agit de glissements de neige ou d'avalanche de neige meuble et humide.

À la limite supérieure de la forêt, les peuplements sont souvent disloqués. Ils occupent des élévations du terrain et

ne peuvent croître dans les combes et les couloirs, en raison des mouvements de la neige et de la longue période d'enneigement.

Les parties supérieures de ces forêts jouent un rôle très important pour la stabilité de l'ensemble des massifs. La régénération n'y est en principe possible qu'à l'abri des vieux arbres. Lorsque ceux-ci font défaut, il est alors nécessaire de recourir à des mesures techniques (trépieds, bermes, pieux, etc.).

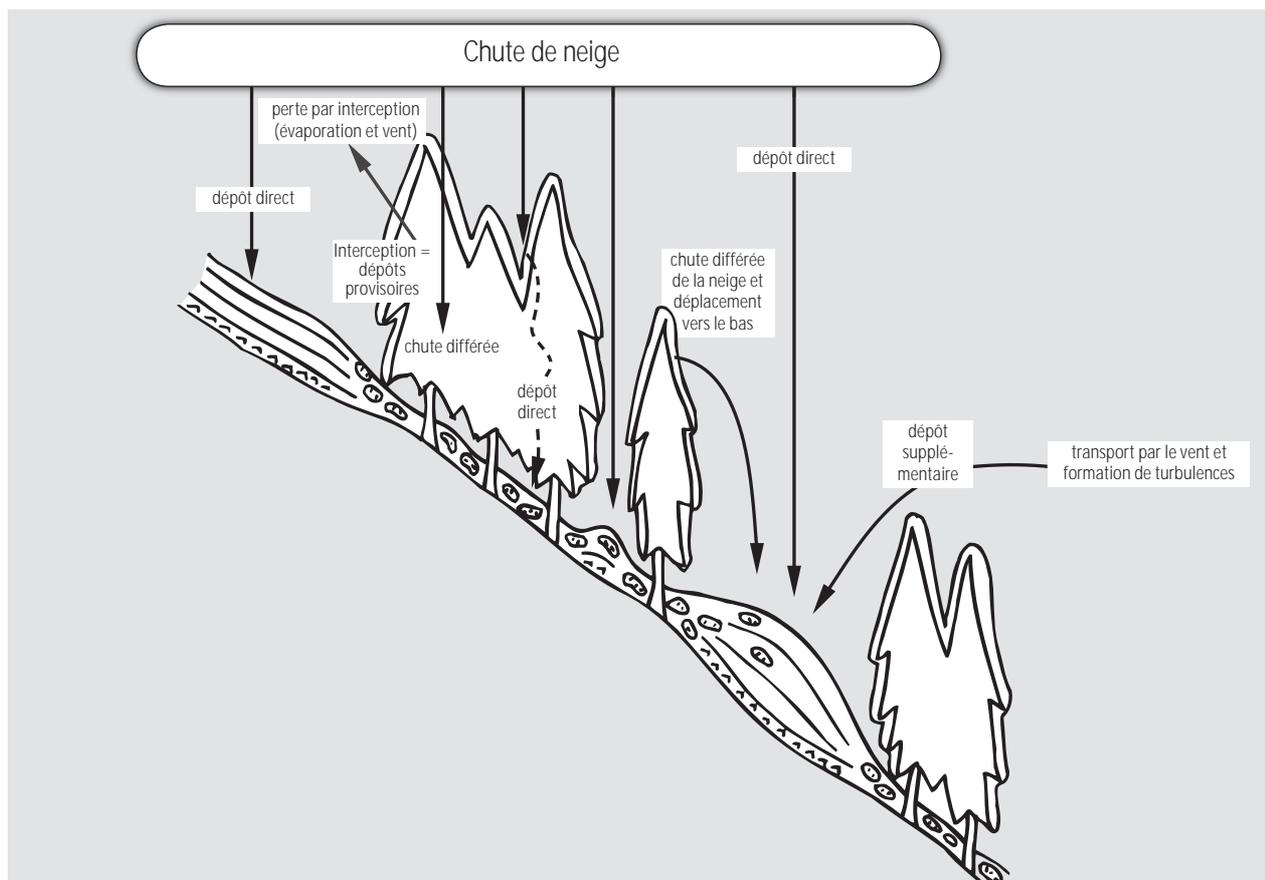
Les conditions prévalant à la limite supérieure du peuplement doivent être intégrées dans les décisions de gestion forestière prises en aval. Dans certains cas, une afforestation de haute altitude peut améliorer la situation. Dans les secteurs proches de la limite supérieure de la forêt, le degré de recouvrement maximum diminue et avec lui les effets protecteurs contre les avalanches. Lorsqu'une zone de déclenchement d'avalanche est située au-dessus de la limite supérieure de la forêt, celle-ci ne peut s'installer en aval qu'aux endroits les plus favorables, par exemple sur les élévations de terrain [cf. photo «Influence de la limite supérieure de la forêt»].



Ill. 2: Forêt de protection contre les avalanches. Sur la gauche de la photo, la forêt reste compacte jusqu'à la hauteur de la crête. La limite supérieure de la forêt se situe au-dessus de cette crête. Au milieu de la photo, la crête dépasse cette limite supérieure, qui est aussi dominée par une zone de déclenchement d'avalanches. La forêt ne colonise plus que les endroits favorables. Cette problématique doit être prise en compte dans la recherche des solutions sylvicoles.

2.4 Effets de la forêt

La forêt influence la structure du manteau neigeux – et par conséquent la formation des avalanches – à travers l'interception, le climat intérieur spécifique, ainsi que par la rugosité du sol accrue par la présence d'arbres, de souches et de bois au sol.



Ill. 3: schéma du processus de dépôt de la neige en forêt (selon Meyer 1987 et Cemagref):

On admet qu'en forêt, la période moyenne de récurrence est de 30 ans, car il faut compter avec une durée de cet ordre pour que les trouées se referment et empêchent le déclenchement d'avalanches. En terrain découvert, on utilise une période de 100 ans pour dimensionner les ouvrages paravalanches.

Facteurs qui limitent

le déclenchement d'avalanches:

- La couche de neige en forêt est plus faible qu'en terrain ouvert en raison du phénomène d'interception. La différence entre la forêt et une zone ouverte est plus prononcée lorsque les chutes de neige sont fai-

bles (70% d'interception) que lorsqu'elles sont fortes (30%). L'interception est plus faible par basses températures. La disposition des couches du manteau neigeux est perturbée en forêt, par exemple par la chute différée de paquets de neige ou par la formation d'entonnoirs autour des souches.

- Le rayonnement est diminué en forêt, notamment dans les forêts de résineux à feuillage persistant: le réchauffement est moins prononcé le jour et le refroidissement moins marqué la nuit qu'en terrain découvert. La forêt génère ainsi un climat particulier qui influence la métamorphose de la neige. Il s'y forme moins de givre

de surface et moins de givre de profondeur. La température plus élevée de la neige renforce sa cohésion. De petites avalanches peuvent se produire en forêt lorsque la neige est humide. Lorsque la surface du sol est lisse, on peut observer des glissements de neige.

- ▶ En forêt, il y a moins de vent et donc moins d'accumulation de neige. Celle-ci peut par contre s'accumuler dans les trouées et en lisière de forêt.
- ▶ La rugosité du terrain forestier y est en général plus élevée qu'en terrain découvert, ce qui diminue les risques liés aux mouvements de la neige.
- ▶ Les fûts et les souches, mais aussi les arbres au sol augmentent la rugosité du terrain et sont autant d'éléments stabilisateurs du manteau neigeux. L'effet stabilisateur des arbres ne suffit en général pas à lui seul pour empêcher le déclenchement d'avalanches. Pour atteindre l'efficacité de constructions paravalanches, le nombre de tiges (DHP > 8 cm) devrait atteindre les valeurs suivantes:
 - sur une pente de 30° (58 %): 500 tiges/ha
 - sur une pente de 40° (84 %): 1'000 tiges/ha.

Facteurs qui favorisent le déclenchement d'avalanches:

- ▶ Il peut se former une couche de givre de surface très durable dans les trouées ombragées et en lisière de forêt. Après une nouvelle chute de neige, cette couche peut devenir un plan de glissement.

Rôle de l'essence et de la structure du peuplement:

La forêt réduit le risque de déclenchement d'avalanches à partir d'une déclivité de 35° (70 %). Mais sur les terrains découverts ou dans les peuplements ouverts de mélèzes, la pente critique est déjà de 30° (58 %).

Les arbres ne produisent un effet que si leur hauteur est au moins le double de celle du manteau neigeux.

Les arbres à feuillage persistant ont une capacité d'interception supérieure à celle des arbres à feuillage caduc, surtout lorsque la température est basse. Sous un peuplement résineux à feuillage persistant, le rayonnement (ondes courtes et moyennes) est réduit jusqu'à une proportion maximale de 90 %. Dans une forêt à feuillage caduc, cette réduction

n'est que de 30 % (cf. recommandations pour la proportion de résineux en fonction du type de station et des associations végétales

Les arbres à feuillage caduc sont efficaces contre le déclenchement d'avalanches lors de petits épisodes neigeux. Mais cette influence est limitée en cas de fortes chutes de neige. À noter que la neige glisse facilement sur une litière de feuilles de hêtre. Il faudrait ainsi maintenir une grande proportion de résineux à feuillage persistant dans les forêts dont l'effet protecteur contre les avalanches est élevé.

Certains arbres et buissons de faible hauteur totalement recouverts de neige (p. ex.: aulnes verts, pins rampants), peuvent favoriser le déclenchement d'avalanches lorsque leurs branches flexibles se redressent soudainement. En outre, la formation de givre de profondeur est souvent prononcée en ces endroits. Lorsque ces peuplements couvrent une grande surface, il se peut que les avalanches y soient un peu moins fréquentes qu'en terrain découvert, mais elles sont par contre de plus grande ampleur.

Les arbres à feuilles caduques bordent souvent les couloirs d'avalanches, lieu où les arbres à feuillage persistant ne peuvent survivre en raison de la prise qu'ils offrent au déplacement de l'air. Dans les Alpes centrales, c'est souvent le mélèze qui occupe ces zones, où le sol brut est par ailleurs favorable à sa régénération. Dans les Préalpes, ce sont l'érable et le hêtre qui occupent ces secteurs. En ces endroits, il ne faut pas chercher à favoriser les arbres à feuilles persistantes.

Les paquets de neige tombant d'arbres dont le départ de la couronne est élevé peuvent déclencher des avalanches. Pour les arbres à longues couronnes (collectifs), ce risque est réduit.

Les arbres de grande taille à grand houppier ont une zone d'influence plus étendue que les petits arbres.

Effet de freinage produit par la forêt

Lorsque l'épaisseur de l'avalanche n'est que de 1 à 2 m, et que seuls les troncs sont mis à contribution, la forêt peut freiner la masse de neige. Par contre, si l'épaisseur et la vitesse de la neige sont plus importantes (p. ex. avalanche de neige poudreuse), la forêt sera détruite. Dans la zone de dépôt, la vitesse de la neige est souvent réduite, si bien que la forêt est mieux en mesure de la freiner et de faire reculer le point d'arrêt de l'avalanche.

Bois mort sur les surfaces de chablis:

Sur la plupart des surfaces de chablis non évacués, le bois constitue au début une protection très efficace contre les mouvements de la neige. Les structures parsemant la surface du sol – troncs et restes de troncs secs sur pied, assiettes racinaires et troncs jonchant le sol – forment un réseau très dense, capable de fixer efficacement la couche de neige. De plus, ces éléments influencent positivement le dépôt de la neige pendant des décennies. Ces bois offrent une bonne sécurité sur les pentes à avalanches typiques (de 30° à 40°) et pour les hauteurs de neige normales dans les zones boisées. Dans les lieux très pentus et dans les endroits où l'enneigement est particulièrement fort, il n'est toutefois pas à exclure que le bois cède sous la charge de la neige et qu'il se mette en mouvement avec elle. Ce danger augmente

par ailleurs avec la progression de la décomposition du bois. Il faut tenir compte de cette réalité dans les endroits où le potentiel de dégât est élevé. Une évacuation totale des bois entraîne dès le départ une forte diminution de l'effet protecteur contre les mouvements de la neige.

On a observé, sur les surfaces «Vivian» situées dans des zones de décrochement potentiel d'avalanches et qui n'avaient pas de rajeunissement, que la plantation permet de gagner au moins 10 ans sur le rajeunissement naturel (nombre et taille des arbres). Il est donc ainsi possible de raccourcir et peut-être même de supprimer la période sans effet protecteur, sachant que cet effet diminue avec la décomposition du bois et augmente avec le développement de la jeune forêt. Une plantation est aussi possible dans les surfaces de chablis non évacués, quoique plus pénible.

Sources: Les données sur les avalanches ont été pour l'essentiel rassemblées par Monika Frehner et Walter Frey, sur les conseils de Peter Bebi (SLF), du comité FAN, du GSM et du CEMA-GREF (Frédéric Berger). **Bibliographie:** Frey, W. (1977), de Quervain, M. (1978), Salm, B. (1978, 1982), Meyer-Grass, M., Imbeck, H. (1985a), Meyer-Grass, M., Imbeck, H. (1985b), Frey, W., Frutiger, H., Good, W. (1987), Imbeck, H., Ott, E. (1987), Meyer-Grass, M. (1987), Meyer-Grass, M., Schneebeli, M. (1992), Frey, W. (1993), Kaltenbrunner, A. (1993), Berger, F. (1997), Munter, W. (1997), Pfister, R. (1997), Frey, W. und Leuenberger, F. (1998), Bebi, P. (2000), Institut fédéral pour l'étude de la neige et des avalanches (2000), Schwitter, R. (2002), Frey W., Thee P. (2002).