



Heft 46, 2016

WSL Berichte

ISSN 2296-3456



Prise en compte du danger d'avalanches et de la pression de la neige pour les installations à câbles

Guide pratique



Stefan Margreth
Lukas Stoffel
Mark Schaer



WSL Institut pour l'étude de la neige et des avalanches SLF
7260 Davos



Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et
le paysage WSL, CH-8903 Birmensdorf

Prise en compte du danger d'avalanches et de la pression de la neige pour les installations à câbles

Guide pratique

Stefan Margreth
Lukas Stoffel
Mark Schaer

Editeur
WSL Institut pour l'étude de la neige et des avalanches SLF, 7260 Davos
Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage WSL
CH-8903 Birmensdorf

Editeur

WSL Institut pour l'étude de la neige et des avalanches SLF, Davos

Responsable de l'édition

Dr Jürg Schweizer, Directeur SLF Davos

Contact

Stefan Margreth

Lukas Stoffel

Mark Schaer

WSL Institut pour l'étude de la neige et des avalanches SLF

Flüelastrasse 11

CH-7260 Davos Dorf

Commanditaire

Office fédéral des transports

Accompagnement du projet

Alain Gilliand, OFT

Urs Dietrich, OFT

Markus Beutler, OFT

Laurent Queloz, OFT

Mise en page: Jacqueline Annen, WSL

Proposition de citation

Margreth, S.; Stoffel, L.; Schaer, M., 2016: Prise en compte du danger d'avalanches et de la pression de la neige pour les installations à câbles. Guide pratique.

WSL Ber. 46: 44 p.

Diffusion

Le présent guide pratique est téléchargeable sur Internet.

Téléchargement: www.wsl.ch/publikationen/pdf/15699.pdf

ISSN 2296-3456 (online)

Photos de couverture:

Avalanche sur le tracé d'un télésiège, 1999

Pylône treillis d'une installation à mouvement continu protégé par une étrave paravalanche

Fissure de glissement de neige sur le versant surmontant un télésiège, 1999

Pylône de télésiège détruit par une avalanche de glissement, 1999

Pylône de télésiège sur socle béton surélevé

Photos de Stefan Margreth

Synthèse

Les installations à câbles en montagne sont régulièrement menacées par des avalanches et par la pression de la neige. Il est donc important de prendre correctement en compte ce danger dès la conception des installations. En Suisse, l'Office fédéral des transports (OFT) demande donc, dans le cadre de la procédure d'autorisation des installations à câbles, une expertise sur les avalanches dont le contenu est décrit dans le présent guide pratique. Celui-ci définit les scénarios à prendre en compte pour analyser le danger représenté par les avalanches et la pression de la neige, pour planifier des mesures et le dimensionnement des installations à câbles et des ouvrages de protection. Le spécialiste en avalanches détermine, sur la base des indications du guide pratique, les valeurs nominales des actions éventuelles exercées et il décrit les mesures de protection temporaires et constructives requises. Ces informations servent de base à l'ingénieur de projet pour la planification détaillée de l'installation. Le présent guide indique à cet effet les principales formules permettant de calculer les avalanches et la pression de la neige et de déterminer la hauteur maximale de neige. En outre, les combinaisons envisageables d'actions sont définies en vue du dimensionnement. Le guide pratique comprend toutes les informations à prendre en compte lors de l'approbation des plans, de l'autorisation d'exploiter et de l'examen des installations à câbles en relation avec les avalanches et la pression de la neige.

Summary

Mountain cableways are regularly endangered by avalanches and snow pressure due to the slow movement of the snowpack on slopes. It is therefore important that the risks from avalanches and snow pressure are already taken into account adequately during the planning of a cableway. In Switzerland, the Federal Office of Transport (FOT) requires the elaboration of an avalanche expert report within the framework of the approval procedure for cableways; its contents are described in this guideline. In particular, the scenarios are defined that have to be considered for the analysis of avalanches and snow pressure hazard, in order to design the cableway installations and to plan the mitigation measures. On the basis of the guideline, the avalanche expert determines the nominal values of the actions and the necessary structural and temporary mitigation measures. This information is the base for the planning engineer to design the cableway in detail. To do this, the most important formulae for the calculation of avalanches and snow pressure, as well as for the determination of the maximum snow depth are specified. The relevant combinations of actions for the design are then defined. This guideline contains all the relevant information which has to be considered for the plan approval, the operating approval and the evaluation of cableways with regard to the risk of avalanches and snow pressure.

Préambule

Les installations à câbles en montagne sont fréquemment menacées par les avalanches ou la pression de la neige. En général, elles transportent des passagers et la sécurité de ceux-ci ainsi que du personnel d'exploitation doit être garantie en permanence. Des mesures de planification relativement simples, comme le déplacement d'un seul pylône, permettent souvent d'améliorer la sécurité de manière déterminante. Une collaboration précoce entre l'ingénieur projeteur et le spécialiste en avalanches est donc importante.

Dans le cadre de la procédure d'autorisation pour les installations à câbles, l'Office fédéral des transports (OFT) exige donc une expertise rédigée par un spécialiste reconnu en avalanches. Les dangers liés aux avalanches et à la pression de la neige qui y sont mentionnés servent de base à l'ingénieur de projet pour la conception détaillée de l'installation.

Le guide pratique «Prise en compte du danger d'avalanches et de la pression de la neige pour les installations à câbles» s'adresse aux sociétés de remontées mécaniques, aux rédacteurs de rapports d'expertise, aux auteurs de projets et aux autorités. Il décrit comment procéder pour l'analyse des dangers que constituent les avalanches et la pression de la neige, comment déterminer les mesures de sécurité correspondantes et comment dimensionner les installations à câbles et les ouvrages de protection. C'est ainsi que le guide pratique fixe des critères d'évaluation propres à définir des références unifiées pour la planification des mesures. Une expertise rédigée selon ce guide permet de vérifier le niveau de sécurité face aux avalanches, exigé par la procédure d'autorisation. Le guide pratique comprend également des principes essentiels de gestion des avalanches et d'exploitation des installations à câbles. Par contre, le guide pratique n'inclut pas l'évaluation d'aménagements liés aux installations à câbles, notamment les pistes de descente ou les restaurants.

Le WSL Institut pour l'étude de la neige et des avalanches SLF Davos a élaboré ce guide pratique en collaboration étroite avec l'OFT. Les auteurs s'appuient sur des approches et des critères d'évaluation des dangers appliqués depuis longtemps dans la pratique et donc largement éprouvés.

Nous remercions tous les participants de leur collaboration constructive et nous espérons que le présent guide pratique posera les bases d'une normalisation et d'une évaluation, conforme à la pratique, des dangers d'avalanches et de la pression de la neige menaçant les installations à câbles afin que les risques hivernaux en montagne soient pris en compte à leur juste mesure.

Berne/Davos, mai 2016

P. Zeilstra
Sous-directeur OFT

Dr. J. Schweizer
Directeur SLF Davos

Sommaire

Résumé	3
Préambule	4
1 Vue d'ensemble	7
1.1 Objectif et contenu du guide pratique, bases	7
1.2 Objectifs de protection	8
1.3 Procédure d'autorisation pour les installations à câbles	9
1.3.1 Approbation des plans	10
1.3.2 Autorisation d'exploiter	11
1.4 Examens des installations à câbles	11
2 Principes de planification	12
2.1 Détermination du danger d'avalanches et de pression de la neige	11
2.2 Évaluation du danger d'avalanches et de pression de la neige, mesures nécessaires	12
2.2.1 Emplacement des stations	13
2.2.2 Emplacement des pylônes, câbles et tracé	13
3 Principes de dimensionnement	16
3.1 Synthèse des actions exercées par les avalanches et la pression de la neige	16
3.2 Détermination des actions exercées par les avalanches et la pression de la neige	18
3.3 Valeurs caractéristiques des actions	19
3.4 Combinaisons d'actions	20
3.4.1 Remarques essentielles	20
3.4.2 Action accidentelle exercée par les avalanches comme action prépondérante, hors exploitation	20
3.4.3 Action variable exercée par les avalanches comme action prépondérante, hors exploitation	21
3.4.4 Pression de la neige comme action prépondérante	21
3.4.5 Avalanches et pression de la neige comme action prépondérante	21
3.5 Vérification des états-limite ultimes et de service	22
4 Principes pour l'exploitation	23
5 Expertise avalanches	24
5.1 Contenu d'une expertise avalanches	24
5.2 Bases nécessaires	24
6 Concept de sécurité contre les avalanches	25

7 Annexes	26
A.1 Bibliographie	26
A.2 Terminologie	27
A.3 Symboles	29
A.4 Détermination de la hauteur maximale de neige	30
A.5 Actions exercées par les avalanches coulantes	31
A.6 Actions exercées par les avalanches poudreuses	36
A.7 Actions exercées par la pression de la neige contre les pylônes	36
A.8 Exemples: Résultats de calculs d'avalanches et de pression de la neige et détermination des actions exercées contre les pylônes	40
A.9 Explications sur les contenus possibles des expertises avalanches	42

1 Vue d'ensemble

1.1 Objectif et contenu du guide pratique, bases

Dans le cadre de la procédure d'autorisation pour les installations à câbles, l'Office fédéral des transports exige qu'un rapport d'expertise soit rédigé par un spécialiste reconnu des avalanches. Une expertise rédigée selon ce guide pratique permet de vérifier le niveau de sécurité contre les avalanches exigé par la procédure d'autorisation. Les dangers liés aux avalanches et à la pression de la neige qui sont mentionnés dans le rapport d'expertise servent à l'ingénieur de projet de base pour la conception détaillée de l'installation à câbles.

Objectifs importants du guide pratique:

Objectifs pour la société de remontées mécaniques:

- Un risque résiduel acceptable pour les usagers et pour le personnel des installations à câbles
- Dans la mesure du possible pas de dommages provoqués par les avalanches et la pression de la neige sur les installations à câbles, dimensionnement suffisant
- Procédure définie pour la conception et les études d'installations à câbles (notamment prise en compte précoce du danger d'avalanches), examen de la faisabilité, éventuellement optimisation du tracé de la ligne ou du type d'installations à câbles, exigences pour une installation d'évacuation

Objectifs pour les autorités octroyant les autorisations:

- Harmonisation des normes de différentes disciplines (spécialistes en avalanches, ingénieurs civils et en mécanique)
- Déroulement défini de la procédure d'autorisation
- Critères d'évaluation unifiés, expression de la faisabilité technique
- Mesures claires de conception et limitation des risques
- Suivi transparent des décisions
- Contrôle simple lors de l'exécution des mesures

Objectifs pour l'auteur de l'expertise:

- Critères unifiés pour l'évaluation du danger d'avalanches et de la pression de la neige, principes clairs de détermination des actions
- Contenu du rapport d'expertise

Objectifs pour l'auteur du projet:

- Reconnaissance des limites d'un tracé de ligne prévu; possibilités d'optimisation et de variantes de projet
- Procédure définie pour l'analyse des structures porteuses, planification des mesures, mise en œuvre
- Bases pour le dossier de sécurité

Sommaire

Le guide pratique met au premier plan l'approche d'analyse de danger par les avalanches et la pression de la neige, la planification des mesures et le dimensionnement des installations à câbles et des ouvrages de protection. Il rappelle également des principes essentiels d'exploitation d'installations à câbles. Les pistes ne sont pas abordées dans ce guide pratique.

Le guide pratique peut être utilisé pour l'évaluation du danger d'avalanches et de pression de la neige sur les installations à câbles, c'est-à-dire pour l'étude des stations, y compris leur environnement proche, les pylônes, les câbles et les tracés des télésièges, installations à mouvement continu et téléphériques à va-et-vient, ainsi que pour les stations, tracés et ouvrages d'art des funiculaires.

Pour différencier les risques, on distinguera les **installations d'accès** et les **installations d'activités** (définition, voir annexe A.2).

Le givrage et les charges de neige sur les ouvrages ne sont pas abordés par le guide pratique.

Principes de base

L'évaluation du danger est abordée dans les «Directives pour la prise en considération du danger d'avalanches lors de l'exercice d'activités touchant l'organisation du territoire» (BFF/SLF 1984) et dans la recommandation «Aménagement du territoire et dangers naturels» (ARE, OFEFP, OFEG 2005)

Lors de la construction, de l'exploitation et de l'entretien des installations à câbles, il faut se conformer aux exigences de base de la Directive 2000/9/CE relative aux installations à câbles transportant des personnes, pour garantir la santé et la sécurité. La mise en œuvre et la concrétisation de ces exigences s'effectuent en Suisse ensuite conformément à la législation sur les installations à câbles correspondante et aux normes désignées (voir annexe A.1).

1.2 Objectifs de protection

Des objectifs de protection exigeants s'appliquent aux installations à câbles pour garantir la sécurité des passagers, du personnel d'exploitation et des tiers. Les objectifs de protection s'orientent selon le niveau de sécurité national des dangers naturels (PLANAT 2013). Les installations à câbles doivent être conçues et construites de manière à pouvoir être exploitées en toute sécurité en tenant compte de leur type, des caractéristiques du terrain et de l'environnement, des conditions météorologiques et atmosphériques, sans induire de nuisances ou de dangers. La sécurité des installations à câbles dépend aussi bien de leurs composantes, de leur structure, de leur montage sur site et des conditions environnementales que de leur surveillance pendant leur exploitation. Pour cette raison, il est très important de déterminer soigneusement les influences environnementales, de prendre en compte les dangers d'avalanches et la pression de la neige, et de concevoir des mesures.

Les objectifs de protection suivants sont déterminés dans ce guide pratique:

- L'infrastructure des installations à câbles ne doit pas subir de dommages disproportionnés sur les éléments porteurs à la suite d'avalanches et de pression de la neige (dimensionnement effectué sur des périodes de retour et des combinaisons d'actions déterminées).
- Pendant l'exploitation, le risque d'accident d'avalanche pour les passagers doit être aussi faible que possible, et comparable avec les risques des transports publics (exploitation ferroviaire).
- Pour le personnel, le risque professionnel doit être supportable.

On tiendra compte du fait qu'on ne peut assurer en terrain montagneux une garantie absolue de sécurité contre les avalanches. En cas d'événements exceptionnels, des dommages locaux ne peuvent pas toujours être exclus. Mais l'intégrité de l'ouvrage ou de l'installation à câbles doit cependant être assurée.

Réalisation des objectifs de protection: conception des installations à câbles

Un tracé favorable, c'est-à-dire une minimisation des risques pour une installation à câbles doit être garantie d'abord lors de la conception, ensuite par des **mesures constructives**. On veillera en outre aux points suivants:

- Le choix du tracé et du type d'installation doit permettre d'éviter les dangers, ou du moins de les réduire de telle sorte que les objectifs de protection exigés puissent être atteints (détermination de la faisabilité). Pour les installations d'activités, il est possible d'adopter des périodes de retour inférieures à celles des remontées d'accès et des constructions dans les localités (voir chap. 2.1).
- L'influence des déclenchements artificiels d'avalanches sur la taille de l'événement de dimensionnement ne sera pas prise en compte lors de l'évaluation du danger et de la détermination des actions.
- L'intégrité des ouvrages dans la zone menacée par des avalanches doit être garantie par des mesures constructives, par exemple: ouvrages paravalanches dans la zone de décrochement, digues de protection ou renforcement contre les actions correspondantes. Le danger de pression de la neige doit être pris en compte, par exemple par renforcement des éléments de construction ou par une protection contre le glissement de neige.
- Si en cas de panne d'éventuelles évacuations verticales pour rejoindre le sol sont impossibles en raison des conditions du terrain et du danger d'avalanches, il faudra prévoir une possibilité d'évacuation le long du câble jusqu'à un site sûr, accessible sans danger.

Réalisation des objectifs de protection: exploitation d'installations à câbles soumises à un danger d'avalanches

La sécurité des passagers doit être garantie non seulement par des mesures de planification et constructives, mais aussi par des **mesures temporaires**, c'est-à-dire des fermetures de zones à risque et éventuellement des déclenchements préventifs d'avalanches. On tiendra compte également du point suivant:

- Les installations à câbles doivent intégrer un concept d'exploitation et d'évacuation, permettant une évacuation en cas d'arrêt éventuel de l'installation, sans exposer les passagers ou les sauveteurs à un risque d'avalanches inadmissible.

1.3 Procédure d'autorisation pour les installations à câbles

Avant la construction et la mise en service d'une installation, les deux procédures suivantes doivent être respectées au niveau fédéral:

- Approbation des plans (avant-projet, projet de l'ouvrage)
- Autorisation d'exploiter (dossier de sécurité basé sur le projet d'exécution).

L'approbation des plans accorde le droit de construire ou de transformer une installation à câbles. Avec cette approbation, l'Office fédéral des transports, autorité responsable, accorde toutes les autorisations nécessaires à la construction. L'approbation des plans comprend donc l'approbation de plans techniques, l'octroi de la concession et des autorisations spéciales relevant du droit de l'environnement (par exemple autorisation d'abattre des arbres) et couvre tous les aspects juridiques: sécurité, droit des transports, de l'aménagement du territoire, de l'environnement et de la construction.

L'autorisation d'exploiter accorde le droit d'exploiter une installation à câbles jusqu'à une certaine date et le cas échéant dans des conditions bien déterminées.

Les deux chapitres suivants présentent des aspects importants relatifs au danger d'avalanches et de pression de la neige.

1.3.1 Approbation des plans

Généralités

L'expertise avalanches délivrée par un spécialiste reconnu fait partie intégrante de la demande d'approbation des plans.

S'il paraît évident **qu'aucun danger d'avalanches ou de pression de la neige** n'existe, l'OFT peut décider sur demande du maître d'ouvrage que la rédaction d'une expertise n'est pas nécessaire.

Le spécialiste doit classer l'installation comme installation d'accès ou installation d'activités en accord avec l'entreprise de transport à câbles. Ce classement va déterminer les périodes de retour et les situations de dimensionnement à prendre en compte.

Un spécialiste doit donc être impliqué très tôt dans les études d'une installation à câbles afin de participer avec le maître d'ouvrage, le constructeur et l'ingénieur civil à un processus itératif tenant compte des autres exigences et conditions-cadres pour optimiser le projet.

L'expertise doit comprendre des informations sur la situation concernant les avalanches et la pression de la neige, les actions, les mesures de protection et éventuellement les conditions-cadres pour l'exploitation et la surveillance de l'installation (voir chap. 5). Toutes les données et mesures permettant de tenir compte du danger d'avalanches et de pression de la neige doivent être déterminées à l'échelon adéquat dans les bases d'étude (concept d'exploitation et d'évacuation, convention d'utilisation et base de projet, rapport de sécurité).

Cas spécifique de l'avant-projet (étude de faisabilité): installation à câbles située dans un contexte présentant des problèmes importants d'avalanches ou études préliminaires en vue d'un projet d'installation à câbles

On parle d'installations à câbles situées dans un contexte à risques importants d'avalanches notamment dans les conditions suivantes: une station sans mesures de protection est fortement menacée, des pylônes ou le tracé de la ligne sont soumis à des fortes actions d'avalanches, l'installation à câbles se trouve dans le domaine d'influence de zones de décrochement difficiles à sécuriser (pour une description plus détaillée, voir ch. 2.2.1 et 2.2.2).

Si l'on attend des problèmes importants liés aux avalanches, ou bien s'il s'agit des études préliminaires pour un projet (décisions intermédiaires ou partielles concernant certains aspects de la procédure d'approbation des plans, notamment décision partielle pour une concession), une procédure en deux étapes est toute indiquée (avant-projet, projet de l'ouvrage):

- **L'avant-projet** permet de vérifier, au sens d'une **étude de faisabilité**, si une installation à câbles peut être réalisée et quelles sont les mesures nécessaires, ou bien si la réalisation n'est pas envisageable. Pour cela, il est possible de procéder conformément aux

- indications du guide pratique (chap. 5.1, tab. 6). Il est également possible de suivre des tracés, des emplacements de stations ou de pylônes différents, et d'envisager des systèmes d'installation à câbles plus adaptés. Suivant la situation, il est conseillé de discuter au préalable des dangers sur l'installation à câbles et de la faisabilité du projet avec les services concernés, notamment spécialistes en avalanches, canton, commune, OFT.
- Le **projet de l'ouvrage** doit comprendre une expertise pour l'approbation des plans (voir liste de vérification, chap. 5.1, tab. 6).

1.3.2 Autorisation d'exploiter

Pour l'autorisation d'exploiter d'une installation à câbles, la législation sur les installations à câbles exige que le requérant produise un **dossier de sécurité** (se basant sur un projet d'exécution).

Le dossier de sécurité doit comprendre entre autres la documentation en vue de la mise en œuvre des mesures de planification, de construction et d'exploitation déterminées dans les études du projet concernant le danger des avalanches et de la pression de la neige (RS 743.11, annexe 3).

Pour les installations à câbles menacées par les avalanches, le dossier de sécurité doit donner des informations sur les procédures en cas de danger d'avalanches (concept de sécurité contre les avalanches, voir chap. 6), évacuation, gestion et surveillance des mesures de protection.

1.4 Examens des installations à câbles

En outre, l'entreprise de transport à câbles doit à tout moment garantir la sécurité de l'installation à câbles et de ses composants et connaître son état (ouvrages, véhicules, entre autres). Lors de l'examen de l'infrastructure (norme SIA 269), il faut vérifier l'exposition aux avalanches et à la pression de la neige à l'aune de la pertinence et de l'actualité des risques.

Les examens doivent suivre les principes décrits dans le présent guide pratique. Si un examen montre que les actions exercées par les avalanches ou la pression de la neige peuvent être plus importantes que ce que d'anciens rapports ont préconisé, il faudra vérifier la sécurité structurale des ouvrages concernés. En principe, des renforcements ne sont pas systématiquement nécessaires si la sécurité peut être garantie par d'autres moyens (limitations d'exploitation ou surveillances spécifiques). Les risques nouvellement déterminés doivent être jugés en tenant compte de l'expérience accumulée (par exemple documentation complète sur les événements). Des mesures d'élimination des dangers ou de réduction des risques existants doivent également être étudiées et mises en œuvre en fonction de la durée d'utilisation restante prévue.

En outre, les installations à câbles menacées par des avalanches doivent présenter un concept de sécurité contre les avalanches (voir chap. 6).

2 Principes de planification

2.1 Détermination du danger d'avalanches et de pression de la neige

Avalanches

Lors des études d'installations à câbles, il faut prendre en compte aussi bien les actions accidentelles que les actions variables. Les actions accidentelles correspondent à des périodes de retour de 100 à 300 ans, les actions variables de 10 à 30 ans. La norme SN EN 13107 indique que les actions variables comprennent des périodes de retour de 50 ans.

Les zones dont la déclivité dépasse 28° sont considérées en général comme des zones à risque de décrochement d'avalanches. Le tableau 1 présente les périodes de retour d'avalanches à prendre en compte selon la catégorie d'objet. Pour les zones concernées par des déclenchements artificiels d'avalanches, on tiendra compte de la situation sans mise en œuvre d'explosifs (voir chap. 1.2, réalisation des objectifs de protection).

Tab. 1: Périodes de retour des avalanches à prendre en compte pour les installations à câbles.

Catégorie d'objet		Période de retour des avalanches T			
		10 ans	30 ans	100 ans	300 ans
Installation d'accès	Stations		X		X
Installation d'activités	Stations	X		X	
Installation d'accès et d'activités	Pylônes; câble / tracé; ouvrages d'art des funiculaires	X		X	

Pression de la neige

La pression de la neige sur les ouvrages est provoquée par le glissement et la reptation lente du manteau neigeux. La pression de la neige doit être prise en compte à partir d'une déclivité de 25°, et lorsque les conditions sont défavorables (en général facteur de glissement $N > 2,5$; tab. A.7.2) à partir d'une déclivité de 20°. Le calcul de la pression de la neige se réfère à une hauteur de neige avec une période de retour de 30 ans.

2.2 Évaluation du danger d'avalanches et de pression de la neige, mesures nécessaires

En dehors des zones habitées, on ne définit pas en général de zones de dangers sur tout le territoire. C'est pourquoi il est recommandé, pour les installations à câbles, de déterminer les différentes actions sur les pylônes et les stations de chaque site et objet concerné. Le spécialiste en avalanches doit se renseigner auprès des services spécialisés cantonaux (services d'information sur les dangers naturels) et consulter les cartes de danger d'avalanches.

Il incombe aux communes et aux cantons de délimiter valablement (sur le plan juridique) les zones de dangers d'avalanches. Si des zones de danger juridiquement valables recoupent des zones de danger établies selon les principes du présent guide pratique, l'expertise devra attirer l'attention sur d'éventuels conflits. Dans de tels cas, l'autorité octroyant l'autorisation devra prendre la décision finale sur la base des évaluations disponibles et de la situation juridique en vigueur.

2.2.1 Emplacement des stations

Pour l'emplacement des stations, on fera la distinction entre les zones de danger suivantes:

- pas de danger
- danger moyen
- danger marqué.

Les zones présentant un danger moyen et marqué pour les avalanches coulantes sont définies dans le tableau 2. Les zones soumises à des avalanches poudreuses dont la période de retour ≤ 30 ans et à des pressions inférieures à 3 kN/m^2 peuvent être attribuées au danger moyen.

Pour les **installations d'accès**, les critères sont identiques aux définitions de la Directive pour la prise en considération du danger d'avalanches lors de l'exercice d'activités touchant l'organisation du territoire (BFF/SLF 1984).

Pour les **installations d'activités**, les zones de danger moyen et marqué (événements avec une période de retour de 10 à 100 ans) peuvent être déterminées selon le tableau 2. On tiendra cependant compte des réglementations cantonales (voir Loi sur les installations à câbles, art. 9).

Principes de base et mesures nécessaires

- La situation de danger doit être évaluée à l'état d'origine, c'est-à-dire sans éventuelles mesures de protection prévues. Si des mesures sont mises en œuvre, il faut présenter en sus la nouvelle situation de danger.
- Les stations doivent être situées si possible dans des zones non menacées.
- Dans les **zones habitées où il existe des zones de danger juridiquement reconnues**, les prescriptions relatives à la zone sont applicables (voir BFF/SLF 1984). La construction d'une nouvelle station dans une zone rouge est en général interdite. Les transformations, par exemple d'un télésiège en un télésiège, peuvent être acceptées lorsque le risque peut être réduit (notamment par des mesures constructives).
- **En dehors d'une zone habitée**, la construction d'une nouvelle **station exposée à un danger marqué** (voir tab. 2) ne sera admise que si des mesures constructives permanentes permettent de réduire le danger à un niveau moyen ou faible pour la station et son environnement. Des mesures constructives possibles sont par exemple des ouvrages

Tab. 2: Définition des zones de danger pour les stations à la suite d'avalanches coulantes

Objets	Niveau de danger					
	Danger marqué			Danger moyen		
	Périodes de retour T [a.]	Pression q [kN/m ²]	Représentation	Périodes de retour T [a.]	Pression q [kN/m ²]	Représentation
Stations des installations d'accès	30	> 0	Rouge			Bleu
	300	> 30		300	$0 < q < 30$	
Stations des installations d'activités	10	> 0	Orange			Violet
	100	> 30		100	$0 < q < 30$	

paravalanches dans les zones de décrochement, des digues et une protection propre à l'objet et à son environnement immédiat.

- Une **station exposée à un danger moyen** (voir tab. 2) est autorisée si sa structure porteuse est dimensionnée pour les forces exercées par des avalanches ou si elle est protégée par des mesures constructives.
- Les mesures constructives pour la protection des stations ne peuvent pas être remplacées par la mise en œuvre de déclenchements artificiels (voir chap. 1.2).
- En cas de danger de pression de la neige, les stations et leur environnement doivent être étudiés en conséquence. Le cas échéant, les éléments porteurs des stations seront dimensionnés pour la pression de la neige.

2.2.2 Emplacement des pylônes, câbles et tracé

Pour les **pylônes**, on déterminera s'ils peuvent être atteints par des avalanches dont la période de retour est de 10 ou de 100 ans et quelle est l'ampleur des actions (tab. 1). Pour déterminer s'il s'agit, pour une installation, d'un emplacement de pylône soumis à des fortes actions (voir tab. 3), le spécialiste en avalanches calculera l'action globale sur le pylône (voir annexe A.5.5).

Tab. 3: Définition d'une forte action d'avalanches contre des pylônes tubulaires et des câbles d'installations à câbles (les conséquences des fortes actions d'avalanches sont dépendantes du type d'installation).

Objets	Valeurs indicatives pour une forte action d'avalanches
Pylônes	Avalanche coulante: Action globale sur le pylône tubulaire > 350 kN (voir exemple dans annexe A.5.5)
Câbles	Avalanche poudreuse (couche de suspension): Pression dynamique à la hauteur du câble $q_{\text{Susp}} > 2,0 \text{ kN/m}^2$

En outre, il évaluera le danger de pression de la neige et il déterminera les actions sur chaque emplacement de pylône.

Si les **câbles** peuvent être atteints par des avalanches poudreuses, la pression dynamique et la largeur de l'avalanche à hauteur de câble seront déterminées pour des périodes de retour de 10 et de 100 ans (fortes actions voir tab. 3). Si des véhicules peuvent se trouver sur le tracé lors d'évènement accidentel, on tiendra compte de la position la plus basse du câble et de la présence des véhicules. Une forte pression dynamique peut souvent être compensée par une position plus élevée du câble.

Pour l'évaluation du danger pour les personnes en cas d'évacuation, on déterminera les **tronçons** pouvant être atteints par des avalanches dont la période de retour est de 10 et de 100 ans, ainsi que les zones de danger locales.

Pour les funiculaires, on déterminera le danger d'avalanches et de pression de la neige auquel est exposé le tracé, les ouvrages d'art (par exemple ponts et piliers) étant considérés comme des pylônes d'installations à câbles.

Principes de base et mesures nécessaires

- Pour les pylônes, on choisira si possible des sites non exposés aux avalanches. En zone menacée, les emplacements des pylônes doivent être optimisés (par exemple sur les arêtes du terrain). Les pylônes doivent être dimensionnés pour les avalanches et pressions de la neige attendues, ou bien protégés en conséquence, en tenant compte des hauteurs de neige minimale (par exemple absence de neige) et maximale sur le site.
- Le tracé du câble doit être choisi pour que les actions exercées par les avalanches soient les plus petites possible et que des déraillements de câble en cas d'avalanche poudreuse soient évités.
- Pour les installations à câbles, on évitera les emplacements de pylônes ou tracés suivants dans la mesure du possible (le cas échéant choix de nouveaux emplacements):
 - Fortes actions exercées par les avalanches conformément au tableau 3.
 - Emplacements de pylônes pouvant être atteints par de grosses avalanches de différentes directions.
 - Tracé d'installations à câbles à portée d'avalanches en provenance de zones de décrochement difficiles à sécuriser (par exemple parois rocheuses élevées, très grandes zones de décrochement, chutes de séracs).
- Si plusieurs pylônes sont exposés à des fortes actions d'avalanches coulantes (voir tab. 3) ou bien si des fortes pressions d'avalanches poudreuses à hauteur de câble (pression dynamique $> 2,0 \text{ kN/m}^2$) peuvent survenir sur un tronçon le long du tracé supérieur à 200 m, l'exposition au danger de l'installation à câbles est considérée comme grande. Dès l'avant-projet, on déterminera les mesures qui permettent d'atteindre les objectifs de protection. Il peut y avoir un risque de dommage élevé et les évacuations au sol peuvent en outre être problématiques. On étudiera le cas échéant d'autres variantes. Dans certains cas, un système d'installation avec des emplacements de pylônes moins nombreux et relativement peu exposés aux avalanches ainsi qu'une hauteur de câble plus importante pourra être une solution.
- Les mesures constructives ne peuvent être remplacées par la mise en œuvre de déclenchements artificiels d'avalanches (voir chap. 1.2).
- Si des secours au sol sont prévus pour les évacuations, l'installation ne doit fonctionner que lorsque tout le tracé et les chemins d'évacuation ne sont pas mis en danger par des avalanches. Suivant les situations, des mesures de sécurité seront mises en œuvre (déclenchements préventifs) et en cas de fortes chutes de neige ou de réchauffement rapide et important, l'exploitation de l'installation pourra être arrêtée.

3 Principes de dimensionnement

3.1 Synthèse des actions exercées par les avalanches et la pression de la neige

Les trois principales actions exercées par les avalanches et la pression de la neige surviennent quand:

- Une avalanche coulante vient percuter l'ouvrage (I)
- Une avalanche poudreuse vient percuter l'ouvrage (II)
- La pression de la neige agit contre l'ouvrage (III).

Action I: Avalanche coulante

On considérera que les pressions de l'avalanche sont constantes sur toute la hauteur de l'écoulement (répartition des charges rectangulaire) et décroissent linéairement vers zéro sur la hauteur de retenue (répartition de charge triangulaire), voir figure 1 et annexe A.5.

L'avalanche coulante agit au-dessus du sol (par exemple avalanche de glissement) ou au-dessus du manteau neigeux. Les pressions éventuellement transmises par le manteau neigeux sont négligées.

- d_A Épaisseur du manteau neigeux, perpendiculaire à la pente (m)
- d_F Hauteur d'écoulement, perpendiculaire à la pente (m)
- d_{Stau} Hauteur de retenue, perpendiculaire à la pente (m)
- q_F Pression d'avalanche coulante, parallèle à la pente (kN/m^2)

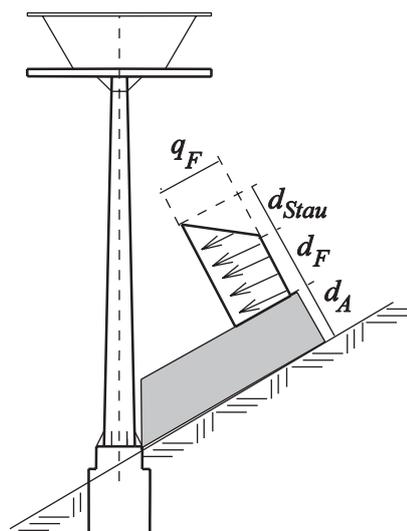


Fig. 1: Action avalanche coulante.

Action II: Avalanche poudreuse

Les avalanches poudreuses sont constituées d'une couche de saltation (ou couche fluidisée) proche du sol et d'une couche en suspension («nuage de poudreuse»), voir figure 2.

On considère que la **couche de saltation** présente une répartition rectangulaire de la charge. Des boules de neige présentes peuvent provoquer des chocs importants. Dans le cas de constructions à parois minces, il faut considérer des charges ponctuelles qui s'ajoutent à la charge répartie, provoquées par le choc des boules de neige.

La pression dynamique dans la **couche de suspension** diminue avec la hauteur. La pression dynamique peut être interprétée comme l'action exercée par le vent conformément à la norme SIA 261. En raison des turbulences, la direction de l'action peut varier de 90°

- d_A Épaisseur du manteau neigeux (m), perpendiculaire à la pente (m)
- d_{Salt} Épaisseur de la couche de saltation, perpendiculaire à la pente (m)
- d_{Susp} Épaisseur de la couche de suspension, perpendiculaire à la pente (m)
- q_{Salt} Pression dans la couche de saltation, parallèle à la pente (kN/m^2)
- q_{Susp} Pression dans la couche de suspension, parallèle à la pente (kN/m^2)

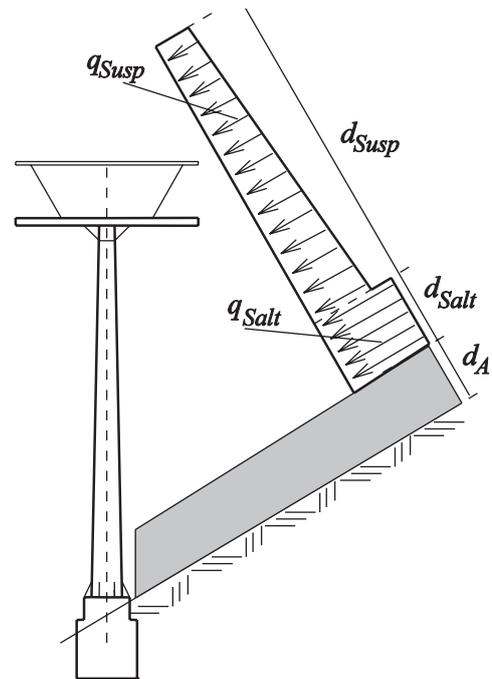


Fig 2: Action avalanche poudreuse.

dans toutes les directions par rapport à la direction principale de l'avalanche et fluctuer fortement et rapidement (env. facteur 2), ce qui doit être pris en compte particulièrement pour les pressions importantes.

Action III: Pression de la neige (provoquée par le glissement et la reptation de la neige)

La pression de la neige peut être considérée comme constante sur la hauteur du manteau neigeux et s'applique dans la direction de la pente (répartition de charge rectangulaire, fig. 3; calcul pour les pylônes voir annexe A.7).

- d_A Épaisseur du manteau neigeux, perpendiculaire à la pente (m)
- q_G Pression de la neige, parallèle à la pente (kN/m'), par mètre d'épaisseur de neige perpendiculaire au versant d_A

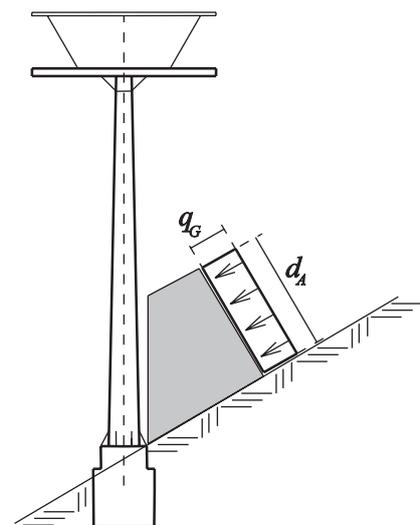


Fig. 3: Action pression de la neige.

3.2 Détermination des actions exercées par les avalanches et la pression de la neige

Le spécialiste en avalanches donne les actions exercées par les avalanches et la pression de la neige sur la surface extérieure d'un ouvrage sous la forme de charges surfaciques, linéaires ou ponctuelles, ou encore de la même manière que l'action exercée par le vent conformément à la norme SIA 261 (synthèse dans le tab. 4, ou l'annexe A.8, tab. A.8.4, A.8.5). La tablette présentant les données sur les actions exercées par les avalanches ou la pression de la neige, conformément au tableau 4, représente également pour ainsi dire **l'interface entre le spécialiste en avalanches et l'ingénieur de projet.**

Tab. 4: Données requises pour les actions dues aux avalanches et à la pression de la neige pour l'ingénieur de projet. Les actions doivent être déterminées pour chaque objet de construction (par exemple, pylône tubulaire, socle de fondation, pylône treillis ou bâtiment).

Actions	Unité	Installations d'accès		Installations d'activités	
		Station	Pylône	Station	Pylône
Action variable exercée par les avalanches		Période de retour T [années]			
Épaisseur du manteau neigeux (avant avalanche)	d_A m	30	30	30	30
Avalanche coulante:		30	10	10	10
Hauteur d'écoulement de l'avalanche	d_F m				
Hauteur de retenue de l'avalanche	d_{Stau} m				
Pression de l'avalanche	q_F kN/m ²				
Direction de l'action	p.ex. nord				
Avalanche poudreuse:		30	10	10	10
Épaisseur de la couche de saltation	d_{Salt} m				
Épaisseur de la couche de suspension	d_{Susp} m				
Pression dans la couche de saltation	q_{Salt} kN/m ²				
Pression dans la couche de suspension	q_{Susp} kN/m ²				
Largeur de l'avalanche poudreuse à la hauteur du câble	b m				
Direction de l'action	p.ex. nord				
Action accidentelle exercée par les avalanches					
Épaisseur du manteau neigeux (avant avalanche)	d_A m	30	30	30	30
Avalanche coulante:		300	100	100	100
Hauteur d'écoulement de l'avalanche	d_F m				
Hauteur de retenue de l'avalanche	d_{Stau} m				
Pression de l'avalanche	q_F kN/m ²				
Direction de l'action	p.ex. nord				
Avalanche poudreuse:		300	100	100	100
Épaisseur de la couche de saltation	d_{Salt} m				
Épaisseur de la couche de suspension	d_{Susp} m				
Pression dans la couche de saltation	q_{Salt} kN/m ²				
Pression dans la couche de suspension	q_{Susp} kN/m ²				
Largeur de l'avalanche poudreuse à la hauteur du câble	b m				
Direction de l'action	p.ex. nord				
Action de la pression de la neige					
Épaisseur du manteau neigeux	d_A m	30	30	30	30
Pression de la neige (dépendant du diamètre de l'objet), par mètre d'épaisseur de neige perpendiculaire au versant d_A	q_G kN/m'				
Direction de l'action	p.ex. nord				

Les calculs d'avalanches doivent être effectués avec des modèles éprouvés, à la pointe de la technique actuelle (par exemple Aval-1d, RAMMS). Pour les pressions q , il s'agit de valeurs nominales. Les pressions exercées par les avalanches q s'appliquent en général parallèlement à la surface du terrain. L'annexe A.5 présente des données sur la force des avalanches coulantes, l'annexe A.6 sur celle des avalanches poudreuse et l'annexe A.7 sur le calcul de la pression de la neige contre les pylônes.

Le choc d'éléments solides comme des pierres ou des arbres entraînés par l'avalanche sera éventuellement pris en compte, voir par exemple AEAI 2005 (chap. 2 avalanches, force de choc due à des charges concentrées).

Pour la hauteur de neige d_A , on utilise systématiquement une hauteur de neige maximale de période de retour de 30 ans (détermination de d_A conformément à l'annexe A.4).

Les valeurs de base (par exemple vitesse de l'avalanche) permettant de déterminer les actions doivent être mentionnées dans le rapport (documentation des calculs et des hypothèses propres à l'expertise).

Si la géométrie de l'ouvrage est connue (par exemple pylône tubulaire, socle de fondation, pylône treillis ou bâtiment), le spécialiste peut déterminer directement les actions.

3.3 Valeurs caractéristiques des actions

L'ingénieur de projet doit prendre en compte les actions conformément au tableau 4. Si la géométrie ou l'emplacement de l'objet sont modifiés lors des études, les valeurs doivent être actualisées en conséquence. Lors de la détermination de la valeur et du point d'application du torseur (moment et force normale), on tiendra compte éventuellement de la hauteur de neige maximale et minimale.

La détermination de l'action exercée par la couche de saltation correspond à celle de l'avalanche coulante (voir annexe A.6). La pression dynamique de la couche de suspension des avalanches poudreuses peut être interprétée comme l'action exercée par le vent conformément à la norme SIA 261 (action en fonction de la forme, de l'emplacement et de la taille de l'objet).

Pour les pylônes pouvant subir une forte action d'avalanche (voir tab. 3), l'ingénieur civil considérera, en étroite collaboration avec le spécialiste en avalanches, des mesures supplémentaires (par ex. ouvrages de protection).

Tab. 5: Détermination des valeurs caractéristiques q_k .

Action	Période de retour	Pressions q selon tableau 4	Valeur caractéristique q_k	
			Stations	Pylônes
Action variable exercée par les avalanches	$T = 10-30$ ans	Calcul d'avalanche	$q_k = 1,0 \cdot q$	$q_k = 1,0 \cdot q$
Action accidentelle exercée par les avalanches	$T = 100-300$ ans	Calcul d'avalanche	$q_k = 1,2 \cdot q$	$q_k = 1,0 \cdot q$
Pression de la neige (comme action variable)	$T = 30$ ans	Calcul de pression de la neige	$q_k = 1,0 \cdot q$	$q_k = 1,0 \cdot q$

L'ingénieur détermine les **valeurs caractéristiques q_k** des actions conformément au tableau 5. Pour les stations, on prendra en compte un facteur de 1,2 pour les actions accidentelles exercées par les avalanches¹.

3.4 Combinaisons d'actions

3.4.1 Remarques essentielles

- On distingue les états «hors exploitation» et «en exploitation».
- Les avalanches seront considérées, selon leur période de retour, soit comme des actions accidentelles, soit comme des actions variables.
- Les avalanches et la pression de la neige peuvent engendrer des actions prépondérantes ou concomitantes en supplément à d'autres actions (par ex. charge du câble).
- La pression de la neige peut agir pendant plusieurs jours, voire plusieurs semaines sur les ouvrages, et ne doit donc être considérée que comme une action variable.
- Les actions exercées par la pression de la neige et les avalanches peuvent survenir simultanément. Ce fait devra être pris en compte par le spécialiste en avalanches.
- Le spécialiste en avalanches détermine si l'occurrence simultanée d'avalanches poudreuses et d'avalanches coulantes est possible. Ceci peut être le cas pour des zones d'écoulement d'avalanches raides et courtes.
- Lorsque des ouvrages peuvent être atteints par des avalanches provenant de différentes directions (remarque voir chap. 2.2.2), ils seront dimensionnés individuellement pour chaque action. On considère en général qu'on peut exclure l'occurrence d'avalanches arrivant simultanément de différentes directions.
- Pour chaque combinaison d'actions, on prendra en compte les poids propres, les actions prépondérantes et concomitantes conformément à SN EN 13107.

Suivant les objets, d'autres combinaisons sont possibles. Elles seront prises en compte par l'ingénieur de projet lui-même avec les coefficients de charges selon SN EN 13107.

3.4.2 Action accidentelle exercée par les avalanches comme action prépondérante, hors exploitation

Action prépondérante:

Les avalanches présentant des périodes de retour de 100 à 300 ans seront considérées comme exerçant des actions accidentelles prépondérantes – hors exploitation.

Actions concomitantes possibles:

- Si l'emplacement se situe dans une zone soumise à la pression de la neige, et où pression de la neige et avalanche peuvent survenir simultanément (chap. 3.4.1), la pression de la neige devra être prise en compte comme action concomitante avec un coefficient de combinaison $\psi_2 = 0,5$.
- Les autres actions concomitantes seront prises en compte conformément à SN EN 13107.

¹ Note: Conformément aux recommandations – Protection des objets contre les dangers naturels gravitationnels (AEAI, 2005), on prend en compte un facteur de 1,2 pour garantir même en cas d'évènement avalancheux extrême une sécurité suffisante des personnes dans des bâtiments renforcés.

3.4.3 Action variable exercée par les avalanches comme action prépondérante, hors exploitation

Action prépondérante:

Les avalanches pouvant atteindre plusieurs fois l'installation à câbles pendant sa durée de vie (période de retour ≤ 30 ans), seront considérées comme exerçant des actions prépondérantes – hors exploitation.

Actions concomitantes possibles:

- Si l'emplacement se situe dans une zone soumise à la pression de la neige, la pression de la neige devra être prise en compte comme action concomitante avec un coefficient de combinaison $\psi_0 = 0,6$.
- Les autres actions concomitantes seront prises en compte conformément à SN EN 13107.

3.4.4 Pression de la neige comme action prépondérante

Action prépondérante:

La pression de la neige (période de retour de la hauteur de neige de 30 ans) peut exercer une action prépondérante en exploitation et hors exploitation. La période de retour de la situation de pression de la neige à considérer ainsi pourrait dépasser 30 ans, car chaque situation avec une hauteur de neige maximale ne cause pas simultanément une pression de neige maximale.

Actions concomitantes possibles:

- Si des avalanches de période de retour ≤ 30 ans peuvent survenir, elles seront prises en compte hors exploitation comme exerçant une action concomitante avec un coefficient de combinaison $\psi_0 = 0,6$.
- Les autres actions concomitantes seront prises en compte conformément à SN EN 13107.

3.4.5 Avalanches et pression de la neige comme action concomitante

Actions prépondérantes:

Les autres actions prépondérantes (normales ou accidentelles) seront prises en compte conformément à SN EN 13107.

Actions concomitantes possibles:

- Les actions variables exercées par les avalanches sont à prendre en compte hors exploitation comme action concomitante aux actions prépondérantes normales ($\psi_0 = 0,6$).
- La pression de la neige sera prise en compte en exploitation et hors exploitation comme action concomitante ($\psi_0 = 0,6$).
- Dans des emplacements fortement exposés à la pression de la neige, on décidera au cas par cas pour chaque situation de dimensionnement si, à côté d'une action accidentelle prépondérante A_d (voir SN EN 13107, chap. 9.3.3.3b) et des actions concomitantes permanentes et quasi-permanentes, on prend en compte également la pression de la neige comme action concomitante variable ($\psi_1 = 0,5$).

3.5 Vérification des états-limite ultimes et de service

La vérification des états-limite sous les actions exercées par les avalanches ou la pression de la neige sera effectuée pour toutes les situations de dimensionnement possibles, celles-ci pouvant être réparties en situations permanentes, transitoires et accidentelles.

Les vérifications des états-limite ultimes et de service seront effectuées conformément à SN EN 13107. Sauf mention contraire, les normes de structures porteuses SIA respectivement SN EN 1990ss seront prises en compte.

4 Principes pour l'exploitation

En ce qui concerne l'exploitation, ce guide pratique formule les principes suivants (voir ch. 1.3.2 et 1.4):

- La protection des personnes sera garantie en cas de danger d'avalanches, en plus des mesures constructives existantes, au moyen de mesures temporaires comme la non mise en exploitation de l'installation à câbles, la suspension de l'exploitation et, suivant la situation, par des déclenchements d'avalanches préventifs. La procédure de mise en œuvre de mesures temporaires doit être fixée par écrit (concept de sécurité avalanches pour les installations à câbles, chap. 6).
- S'il n'existe pas d'installation d'évacuation, on évaluera, avant la mise en exploitation d'une installation à câbles, les dangers d'avalanches sur le tracé et sur les chemins d'évacuation. On procédera à des travaux de sécurisation (déclenchements préventifs) et/ou on arrêtera l'exploitation jusqu'à ce que le danger d'avalanche ait disparu.
- La fonction de toutes les mesures constructives (par exemple ouvrages de stabilisation) qui ont été prises en compte lors du dimensionnement de l'installation à câbles doit être garantie pendant toute la durée d'utilisation.
- Si nécessaire, il faudra gérer les mesures constructives. Pour les pylônes soumis à la pression de la neige, on déterminera par exemple s'il faut évacuer la neige en amont, et à partir de quelle hauteur cela doit se produire (des marques sur les pylônes peuvent servir de repère). En outre, on évaluera en permanence l'efficacité des mesures constructives de protection. Les digues remplies devront, selon les situations, être dégagées.
- Les observations et les données concernant le temps, la neige, les avalanches et la pression de la neige qui concernent l'installation à câbles seront documentées (journal, photos). En particulier, on accordera toute l'attention nécessaire au danger représenté par une pression de la neige importante et des avalanches de glissement. Les hauteurs de neige du moment devront être comparées avec les hauteurs maximales qui ont été utilisées dans les calculs d'avalanches ou de pression de la neige. Les décisions et les mesures nécessaires devront être prises et consignées par écrit.
- Les avalanches atteignant des installations à câbles et provoquant une perturbation notable doivent être signalées par écrit sans retard à l'OFT (voir OEIT 2014, art. 16). Après des phénomènes avalancheux ayant enfoui des pylônes, les éléments en acier doivent être dégagés jusqu'au niveau de la fondation. On contrôlera d'éventuels dommages sur les ancrages et les pieds de pylônes.
Si des dommages surviennent, l'installation à câbles doit être vérifiée suivant les situations par un ingénieur et/ou un spécialiste en avalanches. L'aptitude à l'exploitation de l'installation ou les éventuelles mesures nécessaires doivent figurer dans un rapport à l'attention de l'OFT.
- La répartition des responsabilités entre la direction technique et le service de sécurité avalanches doit être consignée.
- Les travaux liés à la sécurité avalanches sont affectés en interne à des collaborateurs formés en conséquence.

5 Expertise avalanches

5.1 Contenu d'une expertise avalanches

Le tableau 6 présente une check-list concernant le contenu possible d'une expertise avalanches. Certains points ne sont pas obligatoires dans des situations simples. Les informations détaillées seront portées en annexe A.9.

Tab. 6: Check-list pour le contenu d'une expertise avalanches.

<p>Analyse du danger</p> <ul style="list-style-type: none"> – Situation générale (tracé, descentes) – Type d'installation à câbles (entre autre, installation d'accès ou d'activités) – Documents disponibles (par exemple plan des zones de danger, cadastre des avalanches) – Description des couloirs d'avalanches – Description de la situation concernant la pression de la neige – Détermination des hauteurs de neige – Calculs d'avalanches – Calculs de pression de la neige – Évaluation des dangers auxquels sont soumis l'installation à câbles et ses passagers en raison des avalanches et de la pression de la neige. – Mesures constructives et mesures temporaires de protection d'avalanches nécessaires
<p>Actions consécutives aux avalanches et à la pression de la neige</p> <ul style="list-style-type: none"> – Actions s'exerçant sur l'installation à câbles, combinaison des actions – Concept global des mesures constructives de protection contre les avalanches
<p>Exploitation</p> <ul style="list-style-type: none"> – Précisions relatives au concept d'exploitation et d'évacuation – Précisions relatives à la gestion et à la surveillance des mesures de protection (maintenance)
<p>Synthèse</p> <p>Annexe (informations sur le contenu, voir annexe A.9, point 5)</p>

5.2 Bases nécessaires

Le mandant doit fournir au spécialiste en avalanches les informations et données suivantes:

- Plan d'ensemble (en général échelle 1:10 000) avec emplacements des stations, tracé et pistes de descente.
- Profil longitudinal (en général 1:1000) avec emplacements des pylônes, suivant l'avancement du projet.
- Informations sur l'installation à câbles: remplacement d'une installation existante, extension ou nouveau tracé; type d'installation à câbles (par exemple télésiège à 4 places débrayable, capacité 1600 p/h). Zones auxquelles l'installation donne accès: descentes, autres installations, restaurants, hébergements.
- Informations concernant l'installation précédente: type d'installation, année de construction, tracé éventuellement avec les emplacements des pylônes, cas de dommages dus aux avalanches ou à la pression de la neige, mesures de protection existantes, concept de sécurisation antérieur, notamment déclenchements préventifs (méthode, emplacement des points de minage).
- Documentation technique existante concernant les avalanches: cadastre des avalanches dressé par les services des pistes ou des forêts, rapports d'accidents, cartes de dangers, plan des zones de danger, expertises antérieures.

6 Concept de sécurité contre les avalanches

Un concept de sécurité contre les avalanches constitue l'une des bases de l'exploitation. Il est en général rédigé par les entreprises de transport à câbles, entre autre sur la base du rapport du spécialiste en avalanches.

Un concept de sécurité avalanches doit décrire les zones de décrochement à prendre en compte, les mesures temporaires à mettre en œuvre et la réglementation des procédures et des responsabilités (mises en exploitation notamment), voir Guide pratique: le travail au sein du service des avalanches (2007).

Les concepts de sécurité contre les avalanches doivent au moins s'appliquer à l'installation à câbles et à son tracé. Ces concepts partiels devraient être intégrés dans le concept de sécurité du domaine skiable. Le présent guide pratique ne décrit pas les exigences auxquelles doivent satisfaire un tel concept de sécurité.

7 Annexes

A.1 Bibliographie

Association des établissements cantonaux d'assurance incendie (AEAI). AEA1 2005: Recommandations – Protection des objets contre les dangers naturels gravitationnels

Commission suisse pour la prévention des accidents sur les descentes pour sports de neige SKUS, 2012: Directives pour l'aménagement, l'exploitation et l'entretien des descentes pour sports de neige.

Institut fédéral pour l'étude de la neige et des avalanches, 1999: Neue Berechnungsmethoden in der Lawinengefahrenkartierung (AVAL-1d) / Unterlagen RAMMS.

JOHANNESON, T.; GAUER, P.; ISSLER, D.; LIED, K., 2009: The design of avalanche protection dams. Recent practical and theoretical developments, European Commission, Brussels. 195 p.

Loi fédérale du 23 juin 2006 sur les installations à câbles transportant des personnes (Loi sur les installations à câbles [LICa]; RS 743.01) et Ordonnance du 21 décembre 2006 sur les installations à câbles (OICa; RS 743.011).

Loi fédérale du 20 mars 2009 sur le transport de voyageurs (LTV; RS 745.1).

MARGRETH, S., 2007: Construction d'ouvrages paravalanches dans la zone de décrochement. Aide à l'exécution: directive technique. L'environnement pratique no 0704. Office fédéral de l'environnement Berne, WSL Institut Fédéral pour l'Étude de la Neige et des Avalanches ENA, Davos. 136 p.

Norme suisse SN EN 13107: Prescriptions de sécurité pour les installations à câbles transportant des personnes – Ouvrages de génie civil.

Norme suisse SN EN 1990 (SIA 260.001): Eurocodes: Bases de calcul des structures.

Norme suisse SIA 261: Actions sur les structures porteuses. Parlement européen, 2000: Directive 2000/9/CE du Parlement européen et du Conseil du 20 mars 2000 relative aux installations à câbles transportant des personnes.

Office fédéral du développement territorial (ARE), Office fédéral des eaux et de la géologie (OFEG), Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEP), 2005: Recommandation. Aménagement du territoire et dangers naturels.

Office fédéral des forêts, Institut Fédéral pour l'étude de la neige et des avalanches (1984): Directives pour la prise en considération du danger d'avalanches lors de l'exercice d'activités touchant l'organisation du territoire.

Office fédéral des routes (OFROU) et CFF, 2007: Directive: Actions d'avalanches sur les galeries de protection

Office fédéral de l'environnement (OFEV), 2007: Atlas hydrologique de la Suisse (HADES)

Ordonnance du 17 décembre 2014 sur les enquêtes de sécurité en cas d'incident dans le domaine des transports (OEIT; RS 742.161).

PLANAT, 2013: Niveau de sécurité face aux dangers naturels. Plate-forme nationale «Dangers naturels» PLANAT, Berne, 15 p.

Remontées mécaniques suisses (RMS), 2012: L'obligation d'assurer la sécurité sur les descentes pour sports de neige.

SALM, B.; BURKARD, A.; GUBLER, H.U., 1990: Berechnung von Fliesslawinen. Eine Anleitung für Praktiker mit Beispielen. Mitteil. Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung Nr. 47.

RUDOLF-MIKLAU, F.; SAUERMOSE, S., 2011: Handbuch Technischer Lawinenschutz, Ernst und Sohn GmbH & Co.

STOFFEL, L., 2001: Künstliche Lawinenauslösung. Praxishilfe. 2. überarbeitete Auflage. Mitt. Eidgenöss. Inst. Schnee- und Lawinenforsch. 53.

STOFFEL, L.; SCHWEIZER, J., 2007: Praxishilfe. Arbeit im Lawinendienst: Organisation, Beurteilung lokale Lawinengefährdung und Dokumentation. SILS, SLF und BAFU.

WITMER, U., 1986: Erfassung, Bearbeitung und Kartierung von Schneedaten in der Schweiz. Geografisches Institut der Universität Bern.

A.2 Terminologie

Actions: charges, forces et pressions s'appliquant sur un ouvrage. Dans ce guide pratique, il s'agit avant tout des actions exercées par les avalanches (avalanches coulantes et poudreuses) et par la pression de la neige.

alentours de stations: zones dans lesquelles se tiennent des personnes en grand nombre immédiatement avant ou après avoir emprunté l'installation à câbles (en général une zone de 10 m entourant directement la station).

Avalanche:

Avalanche comme action accidentelle: période de retour d'avalanches $T = 100$ à 300 ans.

Avalanche comme action variable: avalanche (période de retour d'avalanches $T = 10$ à 30 ans) pouvant survenir avec une grande probabilité pendant la durée d'utilisation des ouvrages (env. entre 20 et 50 ans)

Avalanche coulante: avalanche principalement sous forme d'écoulement et de glissement sur le sol, par opposition aux avalanches poudreuses.

Avalanche poudreuse: les avalanches poudreuses sont constituées d'une couche de saltation proche du sol et d'une couche en suspension («nuage de poudreuse»).

Carte du périmètre des avalanches: Carte représentant la zone menacée par les avalanches (zone de décrochement, zone d'écoulement, zone de dépôt).

Danger: conditions, circonstances ou processus qui peuvent déboucher sur des dégâts matériels/corporels

Descentes (abréviation pour descentes pour sports de neige): on regroupe sous ce nom les pistes, itinéraires, chemins pour sports de neige (autrefois chemins de ski) et les fun-parks.

Dimensionnement sous l'effet des forces d'avalanches: les ouvrages sont considérés comme dimensionnés pour reprendre les forces des avalanches si les actions n'entraînent aucun dommage structurel. Des éléments non porteurs peuvent toutefois être endommagés.

Direction technique: selon l'art. 46 de l'ordonnance sur les installations à câbles transportant des personnes, personne responsable de la sécurité de l'exploitation et de la maintenance des installations à câbles.

Épaisseur de neige: épaisseur du manteau neigeux, mesurée perpendiculairement à la pente.

Examen: L'examen d'une structure porteuse a pour but de vérifier sa sécurité structurale et son aptitude au service du point de vue de l'utilisation restante convenue, et permettre, si nécessaire, de proposer des interventions de maintenance (définition selon le chap. 2.3.1 de la norme SIA 269).

Hauteur de neige: épaisseur du manteau neigeux, mesurée verticalement

Infrastructure: les infrastructures concernées par les avalanches sont les stations et les pylônes des télésièges, des télécabines et des téléphériques à va-et-vient, les tracés d'installations, les ouvrages d'art des funiculaires ainsi que les ouvrages de protection.

Installations à câbles: destinées au transport de personnes, elles comprennent les téléphériques, les funiculaires, les téléskis ainsi que d'autres installations de transport mues ou portées par des câbles (installations à câbles), (art. 2 LICa).

Installations d'accès: les installations ayant une fonction d'accès à une zone habitée ou à un centre touristique (point de départ d'autres installations d'activités) sont appelées installations d'accès, toutes les autres sont des installations d'activités.

Intensité: l'intensité des avalanches doit être évaluée selon les critères de la pression d'avalanche et de la hauteur d'écoulement. Dans le contexte des ouvrages, on parle d'une grande intensité lorsque les actions exercées exigent des mesures de protection. Selon le type de l'élément concerné (câble, pylône...) on considérera comme «grandes» des intensités de niveau différent.

Mesures temporaires de protection contre les avalanches: mesures d'organisation ou d'exploitation prises à court terme, notamment fermetures, évacuations ou déclenchements artificiels d'avalanches.

Mise en Danger: danger qui s'applique concrètement à une situation ou à un ouvrage déterminés. Un danger, par exemple par des avalanches, représente une action possible sur les personnes et les ouvrages et il est décrit avec une période de retour et une intensité.

Ouvrage: toute installation fixe est un ouvrage. Il peut s'agir de bâtiments, de pylônes, de conduites ou encore d'ouvrages de protection contre les avalanches.

Période de retour: période T en années au cours de laquelle un phénomène avalancheux atteint ou dépasse statistiquement en moyenne une fois une certaine dimension (épaisseur de décrochement ou volume).

Pression de la neige: on appelle pression de la neige les forces s'exerçant sur des ouvrages à la suite de mouvements lents de reptation et de glissement du manteau neigeux.

Risque: probabilité et ampleur des dommages possibles. Si des mesures sont prises pour réduire les risques, le niveau de risque subsistant est appelé **risque résiduel**.

Stations: station amont, station aval, éventuellement station intermédiaire d'une installation à câbles.

Zone d'agglomération: zone construite, où les zones à bâtir et éventuellement les zones de danger sont délimitées.

A.3 Symboles

Tab. A.3.1: Symboles utilisés.

Symbole	Unité	Désignation	Remarque
α	°	Angle de déviation de l'avalanche	Voir annexe A.5
B	m	Largeur ou diamètre de l'objet	Voir annexe A.5
b	m	Largeur de l'avalanche poudreuse à hauteur de câble	Voir tableau 4
c		Coefficient de résistance	Voir annexe A.5
d	m	Épaisseur perpendiculairement à la pente	Pour les avalanches et la pression de la neige
d_A	m	Épaisseur du manteau neigeux	
d_F ou d	m	Hauteur d'écoulement des avalanches	
d_{Stau}	m	Hauteur de retenue de l'avalanche coulante contre les ouvrages	
d_{Salt}	m	Épaisseur de la couche de saltation des avalanches poudreuses	
d_{Susp}	m	Épaisseur de la couche de suspension des avalanches poudreuses	
d_0	m	Épaisseur de décrochement	Pour le calcul des avalanches
ΔH_{S_3}	m	accroissement du manteau neigeux (sur 3 jours)	
E_d		Valeur de dimensionnement de l'effet d'action	
η		Facteur d'influence pour la pression de la neige	Voir annexe A.7
ψ	°	Déclivité de la pente	Pour le calcul de la pression des avalanches et de la neige
$f(\psi)$		Facteur de réduction pour le calcul de l'épaisseur de décrochement	
g	m/s^2	Accélération terrestre	
h	m	Hauteurs verticales	Pour les avalanches et la pression de la neige
h_A	m	Hauteur de neige	
K		Facteur de reptation pour le calcul de la pression de la neige	Voir annexe A.7
λ		Coefficient de calcul de la hauteur d'accumulation (retenue)	Voir annexe A.5
μ		Coefficient de frottement pour le calcul des avalanches	
N		Facteur de glissement pour le calcul de la pression de la neige	Voir annexe A.7
ψ_0		Coefficient définissant la valeur de combinaison d'une action variable	
ψ_1		Coefficient définissant la valeur fréquente d'une action variable	
ψ_2		Coefficient définissant la valeur quasi-permanente d'une action variable	
q	N/m^2	Pression	
q_F	N/m^2	Pression de l'avalanche coulante	
q_{Salt}	N/m^2	Pression dans la couche de saltation des avalanches poudreuses	
q_{Susp}	N/m^2	Pression dans la couche de suspension des avalanches poudreuses	
q_G	kN/m'	Pression de la neige ou force de pression de la neige	
q_k	N/m^2	Valeur caractéristique de l'action	
ρ	kg/m^3	Densité	
T	ans	Période de retour	
v	m/s	Vitesse	
ξ	m/s^2	Facteur de frottement turbulent	Pour le calcul des avalanches
Autres symboles conformément à SN EN 13107 et SN EN 1990: 2002			

A.4 Détermination de la hauteur maximale de neige

1. Hauteur maximale de neige centennale comme valeur de départ sur le site de l'objet

La hauteur de neige peut être déterminée par la statistique de valeurs extrêmes des mesures effectuées sur une station voisine SLF de référence et doit être convertie pour l'altitude du site (voir Atlas hydrologique de la Suisse (HADES); selon la région, le gradient est de 15 à 30 cm par 100 m). La hauteur de neige centennale à l'altitude de l'objet peut également être déterminée sur la base des informations de l'HADES. La hauteur de neige ainsi obtenue est valable pour un terrain plat.

2. Impact du rayonnement solaire (exposition et déclivité)

A l'ombre, on mesure des hauteurs de neige maximale bien plus importantes que sur les versants sud. L'influence du rayonnement solaire sur la hauteur de neige maximale peut être prise en compte conformément au tableau A.4.1 (d'après WITMER 1986). Sur des emplacements extrêmes, ces influences peuvent être encore plus importantes.

Tab. A.4.1: Facteur de correction pour la détermination de la hauteur maximale de neige.

Exposition et déclivité	Facteur de correction
Secteur nord et déclivité > 15°	env. 1,2
Secteur est et ouest avec déclivités > 15° et déclivité générale < 15°	1,0
Secteur sud et déclivité > 15°	env. 0,8

3. Influence de la topographie, du vent, de la forêt et de l'évacuation possible de la neige

Sur les arêtes du terrain, il faut s'attendre en général à des hauteurs de neige moins importantes, tandis que dans les combes à des hauteurs plus importantes qu'en terrain plat. Jusqu'à quel point la hauteur de neige peut-elle être adaptée? Cela dépend de la situation locale et de l'influence du vent; le calcul en incombe à un expert. Dans les clairières, on sait par expérience que la hauteur de neige dépasse d'environ 10 à 20% celle d'un terrain ouvert. Pour les pylônes à proximité des pistes et des stations, on peut tabler sur des hauteurs de neige inférieures. Si l'emplacement du pylône est souvent atteint par des avalanches, la hauteur de neige doit être augmentée en conséquence.

4. Conversion des hauteurs de neige pour différentes périodes de retour

Un dépouillement des données recueillies par le SLF montre que le rapport entre les hauteurs maximales de neige pour différentes périodes de retour dans l'ensemble de la Suisse et pour toutes les altitudes est sensiblement constant. Si la hauteur de neige d'un site a été recensée pour une certaine période de retour, les facteurs de conversion du tableau A.4.2 peuvent être utilisés pour d'autres périodes de retour.

Tab. A.4.2: Conversion des hauteurs de neige.

Période de retour	Facteur de conversion par rapport à la hauteur de neige centennale
10 ans	0,68
30 ans	0,83

Exemple

Hauteur de neige centennale, statistique des valeurs extrêmes station de référence 1700 m d'altitude	2,4 m
Hauteur de neige centennale à l'emplacement de l'objet: 2500 m d'altitude, terrain plat (+ 8 · 0,20 m, soit gradient: 0,2 m par 100 m)	4,0 m
Exposition et déclivité: Nord, 28° (facteur de correction 1,2)	4,8 m
Topographie: site sur arête du terrain, réduction de la valeur obtenue par expertise	3,0 m
Hauteur maximale de neige trentennale hA à l'emplacement de l'objet (facteur 0,83)	2,5 m

A.5 Actions exercées par les avalanches coulantes

A.5.1 Action sur des grands objets

Grand signifie que la plupart des particules de neige du flux avalancheux sont déviées avec le même angle α .

Pression perpendiculaire à la surface: $q_N = \rho \cdot (v \cdot \sin\alpha)^2$ [N/m²]

Frottement parallèle à la surface: $q_S = \mu \cdot q_N$ [N/m²]

ρ [kg/m³] Densité de la neige de l'avalanche: en général 300 kg/m³. Pour des petits volumes d'avalanches, des trajets d'avalanches courts ou des avalanches fluidisées ($v > 25\text{--}30$ m/s), la densité peut, selon les situations, être réduite jusqu'à 200 kg/m³.

v [m/s] Vitesse de l'avalanche

α [°] Angle de déviation de l'avalanche (voir fig. A.5.1)

μ [-] Coefficient de frottement (0,3 pour le contact neige/béton; 0,4 pour le contact neige/surface rugueuse)

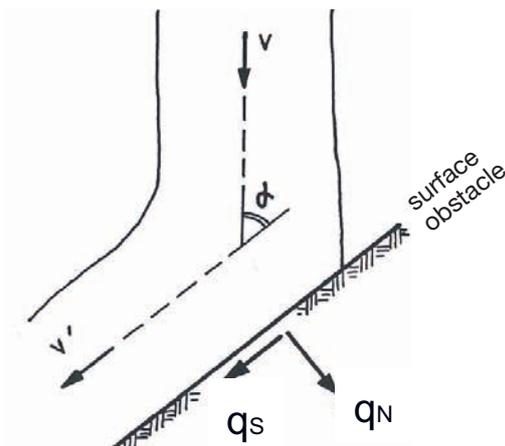


Fig. A.5.1: Angle de déviation α .

A.5.2 Action sur des objets étroits

Étroit (< env. 2 m) signifie que les particules de neige s'écoulent autour de l'objet et ne sont pas déviées avec un angle constant. La contrainte dépend de la forme de l'objet.

Pression sur un objet: $q = \frac{1}{2} \cdot c \cdot \rho \cdot v^2$ [N/m²]

c [-] Coefficient de résistance (dépendant de la forme de l'objet)

Valeurs indicatives	Cylindre	c = 1
	Etrave (coin)	c = 1,5
	Rectangle (mur)	c = 2
	Avalanche de neige mouillée/de glissement	c = 6–8

A.5.3 Répartition des forces sur les objets

Si une avalanche coulante rencontre un obstacle, il se forme une retenue au sein de laquelle la pression de l'avalanche diminue linéairement (voir chap. 3.1, fig. 1).

Hauteur d'influence de la pression de l'avalanche d_{tot} :

$d_{\text{tot}} = d + d_{\text{stau}}$ [m]

d [m] Hauteur d'écoulement

d_{stau} [m] Hauteur de retenue = $v^2 / (2 \cdot g \cdot \lambda)$, voir indication suivante pour les objets étroits

g [m/s²] Accélération terrestre, 9,81 m/s²

λ [-] Constante de transformation énergétique (avalanche légère, sèche $\lambda = 1,5$; avalanche dense $2 \leq \lambda \leq 3$)

Hauteur de retenue pour les objets étroits comme les pylônes (largeur d'objet < env. 2 m):

$d_{\text{stau}} = v^2 \cdot f(B/d) / (2 \cdot g \cdot \lambda)$ [m]

f(B/d) [-] Facteur de réduction (voir tab. A.5.1)

B [m] Largeur de l'objet perpendiculairement à l'écoulement

d [m] Hauteur d'écoulement

B/d [-] Rapport de largeur de l'objet par rapport à la hauteur d'écoulement

Nous recommandons de calculer la hauteur de retenue avec la formule indiquée ci-dessus. Pour une vitesse élevée et une faible hauteur d'écoulement, la hauteur de retenue calculée pour les objets étroits est en général plutôt trop élevée. Théoriquement, les hauteurs de retenue contre les pylônes varient entre 1,0 et 5,0 m. L'expert doit évaluer de manière critique la hauteur de retenue calculée, et si nécessaire la réduire. La réduction de la hauteur de retenue dépend des points suivants:

- Volume des avalanches: les hauteurs de retenue sont inférieures lorsque le volume de l'avalanche est faible.
- Type d'avalanche: pour les avalanches fluidisées ($v > 28$ m/s) des hauteurs de retenue inférieures peuvent être attendues. On peut prendre comme valeur minimale pour la hauteur de retenue des avalanches fluidisées une hauteur correspondant à 10 % de la vitesse d'écoulement (facteur = 0,1 s), c'est-à-dire pour $v = 30$ m/s, $d_{\text{stau}} = 3$ m (JOHANNESSEN *et al.* 2009).
- Emplacement de l'objet: dans les combes où l'objet peut bloquer la neige de l'avalanche qui s'écoule, les hauteurs de retenue peuvent être supérieures.
- Diamètre de l'objet et hauteur d'écoulement: pour les faibles hauteurs d'écoulement (< 0,5 m) et les petits diamètres d'objets (< 1,0 m), on peut attendre des hauteurs de retenue inférieures.

Tab. A.5.1: Facteur de réduction f (B/d) en fonction du rapport B/d (SALM *et al.* 1990).

Rapport entre la largeur et la hauteur d'écoulement (B/d)	0,1	0,5	1	2	≥ 3
Facteur de réduction f (B/d)	0,1	0,4	0,7	0,9	1

A.5.4 Avalanches contre les pylônes treillis

- Les pylônes treillis ne sont en général pas adaptés pour subir les actions des avalanches coulantes.
- Les pylônes treillis étroits (largeur $< 2,0$ m) ou les membrures d'angle des gros pylônes treillis avec de petits espacements entre les barres ($< 1,0$ m) peuvent être considérés comme des obstacles étroits pleins. L'avalanche ne peut s'écouler que de manière limitée à travers le treillis.
- Si un pylône treillis présente des écartements importants ($> 1,0$ m), la neige de l'avalanche peut s'écouler autour des barres. Etant donné que la largeur d'influence lors de l'impact de blocs de neige peut être sensiblement plus importante que la largeur de profil, il faut déterminer les pressions de l'avalanche sur une largeur de profil plus importante (= largeur de profil + 0,8 m). Avec cette largeur et la longueur de toutes les barres présentes du côté amont, il est possible de déterminer la force résultante de l'avalanche sur le pylône treillis pour attester la stabilité globale.

A.5.5 Exemple: grosse action exercée par une avalanche et action globale contre un pylône tubulaire (cas 1, A.5.6)

Une forte action exercée par une avalanche (action globale > 350 kN) sur un pylône tubulaire est atteinte théoriquement pour le cas 1 conformément à l'annexe A.5.6 pour (avec $c = 1$):

- une hauteur d'écoulement d'env. 1 m et une pression d'avalanche $\frac{1}{2} \cdot c \cdot \rho \cdot v^2 > 75$ kN/m²
- une hauteur d'écoulement d'env. 1,5 m et une pression d'avalanche $\frac{1}{2} \cdot c \cdot \rho \cdot v^2 > 65$ kN/m².

Action globale Q , contre un pylône tubulaire étroit:

$$Q = \frac{1}{2} \cdot c \cdot B \cdot (d + (d_{\text{Stau}}/2)) \cdot \rho \cdot v^2 \text{ [N]}$$

Exemple:

$c = 1$ Coefficient de résistance, cylindre conformément à A.5.2

$B = 1,3$ m Diamètre du pylône

$d = 1,5$ m Hauteur d'écoulement

$d_{\text{Stau}} = 5$ m Hauteur de retenue

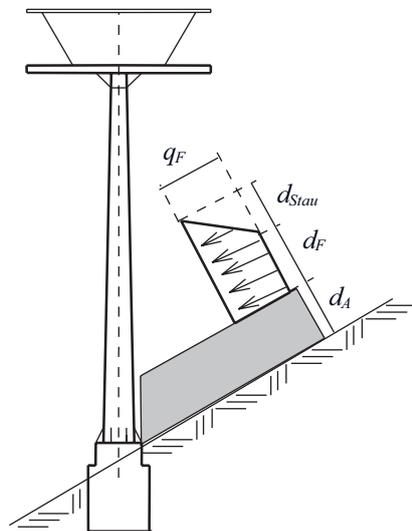
$\rho = 300$ kg/m³ Densité de la neige de l'avalanche

$v = 22$ m/s Vitesse de l'avalanche

$$Q = \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 1,3 \cdot (1,5 + 5/2) \cdot 300 \cdot 22^2 = 377\,520 \text{ N} = 378 \text{ kN}$$

A.5.6 Influence de la géométrie de l'objet sur la détermination des actions sur les pylônes

Cas 1: L'avalanche percute un pylône tubulaire



- d_A = Épaisseur du manteau neigeux (m)
 d_F = Hauteur d'écoulement, perpendiculaire à la pente (m)
 d_{Stau} = Hauteur de retenue, perpendiculaire à la pente (m)
 q_F = Pression d'avalanche coulante, parallèle à la pente (kN/m²)

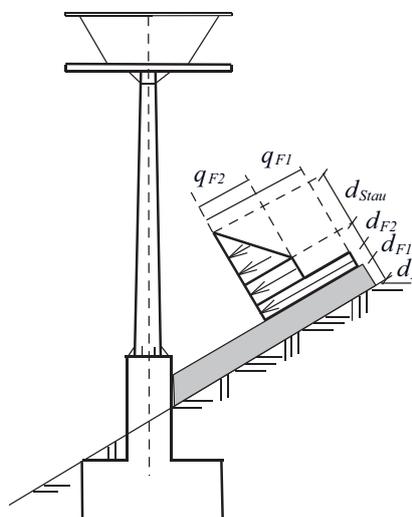
Fig. A.5.2: Pylône tubulaire sur fondation béton à fleur de terrain.

Tab. A.5.2: Pression d'avalanche coulante et hauteur de retenue contre pylône tubulaire sur fondation béton à fleur de terrain.

Pylône tubulaire sur fondation en béton à fleur de terrain qui n'est pas atteinte par l'avalanche	
Pression de l'avalanche coulante	$q_F = \frac{1}{2} \cdot c \cdot \rho \cdot v^2$ mit $c = 1,0$ (largeur d'objet: diamètre du pylône)
Hauteur de retenue	$d_{Stau} = v^2 \cdot f(B/d) / (2 \cdot g \cdot \lambda)$ (largeur d'objet: diamètre du pylône)

Cas 2: L'avalanche percute le socle rectangulaire en béton et le pylône tubulaire

Avec des socles béton surélevés, les problèmes de stabilité des profilés minces en acier des pylônes tubulaires sous l'action exercée par une avalanche peuvent être évités (surtout dans le cas d'avalanches pouvant emporter des pierres et des arbres).



- d_A = Épaisseur du manteau neigeux (m)
 d_{F1} = Hauteur d'écoulement contre socle, perpendiculaire à la pente (m)
 d_{F2} = Hauteur d'écoulement contre pylône, perpendiculaire à la pente (m)
 d_{Stau} = Hauteur de retenue perpendiculaire à la pente (m)
 q_F = Pression d'avalanche coulante, parallèle à la pente (kN/m²)
 q_{F1} = Pression d'avalanche coulante contre socle
 q_{F2} = Pression d'avalanche coulante contre pylône

Fig. A.5.3: Pylône tubulaire sur socle béton surélevé.

Tab. A.5.3: Pression d'avalanche coulante et hauteur d'écoulement pour pylône tubulaire sur socle béton surélevé.

Pylône tubulaire sur socle béton surélevé	
Pression de l'avalanche coulante	Contre socle béton rectangulaire : $q_{F1} = \frac{1}{2} \cdot c \cdot \rho \cdot v^2$ voir fig. A.5.4 ($c = 1,5$ pour impact de biais; $c = 2$ pour impact \pm perpendiculaire au socle) (Largeur d'objet: diamètre de socle perpendiculaire à la direction d'écoulement d'avalanche)
	Contre pylône tubulaire: $q_{F2} = \frac{1}{2} \cdot c \cdot \rho \cdot v^2$ ($c = 1,0$ pour cylindre) (Largeur d'objet: diamètre du pylône)
Hauteur de retenue	$d_{\text{Stau}} = v^2 \cdot f(B/d) / (2 \cdot g \cdot \lambda)$, voir également remarque en annexe A.5.3 avec largeur d'objet B suivant les cas: $d_{F1} > d_{F2}$: B = diamètre de socle perpendiculaire à la direction d'écoulement d'avalanche $d_{F1} < d_{F2}$: B = diamètre de pylône

La figure A.5.4 présente le schéma d'un socle béton surélevé avec différentes directions d'avalanches.

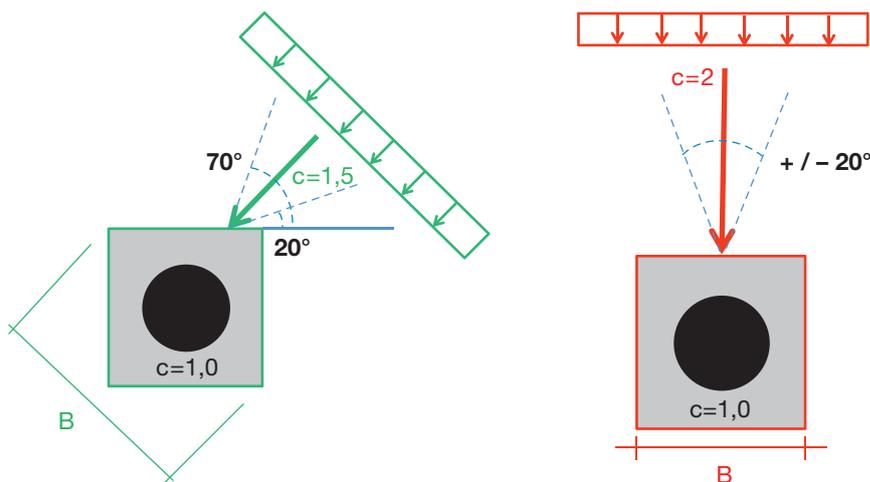


Fig. A.5.4: Situation d'un pylône tubulaire et d'un socle en béton surélevé avec différentes directions d'avalanches: secteurs du socle béton avec un coefficient de résistance $c = 1,5$ et $c = 2$; la largeur du socle B est à prendre chaque fois perpendiculairement à la direction de l'avalanche. Coefficient de résistance pour le pylône tubulaire $c = 1$.

A.6 Actions exercées par les avalanches poudreuses

Pour le calcul des actions exercées par les avalanches poudreuses, on fait la distinction entre les pressions d'avalanches dans la couche de saltation (ou couche fluidisée) et les pressions dynamiques dans la couche de suspension.

Les actions exercées par la couche de saltation peuvent être calculées par analogie aux avalanches coulantes (voir annexe A.5).

Les actions exercées par la couche de suspension sur les objets peuvent être traitées par analogie aux forces du vent conformément au chap. 6 de SN 505 261, la pression dynamique du vent q_p étant remplacée par la pression dynamique q_{susp} de la couche de suspension. Les coefficients de force et de pression correspondants sont indiqués dans l'annexe C de SN 505 261.

On tiendra compte du fait que, lors d'un écoulement autour des bâtiments, une dépression dynamique (aspiration) apparaît au niveau du toit, des murs latéraux et du mur arrière. Les câbles des installations à câbles se trouvent souvent dans la zone d'influence de la couche de saltation.

Les pressions des couches de saltation et de suspension s'exercent simultanément.

Les avalanches poudreuses peuvent emporter des blocs de neige ou des pierres, qui doivent être considérées comme des charges concentrées.

A.7 Actions exercées par la pression de la neige contre les pylônes

A.7.1 Pression de la neige contre les pylônes

Pour la détermination de la pression de la neige, on part de l'hypothèse d'un hiver avec de forts glissements de neige et des hauteurs maximales de neige. Pour les calculs de pression de la neige, on peut partir en général d'une densité de $\rho = 300 \text{ kg/m}^3$ (evtl. $\rho = 400 \text{ kg/m}^3$ pour les expositions sud et des hauteurs de neige inférieures à environ 2 m). On ne tient pas compte du fait qu'en réalité, le glissement de la neige se produit souvent lorsque l'enneigement est faible mais la densité importante.

La pression de la neige dépend de: déclivité de la pente, altitude, hauteur de neige, densité de neige, exposition, topographie (arêtes, combes), nature du sol, longueur du versant. Pour évaluer ces facteurs, il faut en général se rendre sur les lieux. Les pressions importantes s'exercent surtout sur les versants exposés au soleil dont l'inclinaison est de 35° à 45° dans les régions préalpines, à sols lisses, et dans les combes.

La pression de la neige contre un pylône isolé est donc plusieurs fois supérieure à celle qui s'exercerait au milieu d'un ouvrage paravalanche en raison des effets de bord. Les effets de bord sont définis par le facteur d'influence η . Le facteur d'influence dépend du rapport entre l'épaisseur de neige et le diamètre de l'objet ainsi que de la grosseur du glissement.

Les actions exercées par la pression de la neige dépendent de la largeur de l'objet, mais pas de sa forme. Si la pression de la neige s'exerce avec un angle de 45° sur un socle élevé, en béton par exemple, le diamètre de l'objet correspond à la diagonale du socle.

La pression de la neige parallèle au versant q_G agit sous la forme d'une charge linéaire (ou d'une résultante) par mètre d'épaisseur de neige perpendiculaire au versant d_A (chap. 3.1, fig. 3). La formule qui suit se base sur la directive Constructions d'ouvrages paravalanches dans la zone de décrochement, Margreth 2007:

$$\text{Pression de la neige } q_G = \rho \cdot g \cdot h_A^2 \cdot 0,5 \cdot K \cdot N \cdot \eta \cdot B/d_A \text{ [N/m']}$$

ρ	[kg/m ³]	Densité de la neige (dans la directive Constructions d'ouvrages paravalanches dans la zone de décrochement, on utilise pour la densité de la neige t/m ³ et non l'unité SI kg/m ³ .)
g	[m/s ²]	Accélération terrestre, 9,81 m/s ²
h_A	[m]	Hauteur de neige (voir annexe A.4)
K	[-]	Facteur de reptation en fonction de ρ (tab. A.7.1)
ψ	[°]	déclivité de la pente à l'emplacement du pylône (en général supérieure à 25°, voir chap. 2.1)
N	[-]	Facteur de glissement (tab. A.7.2)
η	[-]	Facteur d'influence = $1+(0,6 \text{ bis } 6)d_A/D$ (Tab. A.7.3)
B	[m]	Diamètre ou largeur de l'objet
d_A	[m]	Épaisseur de la neige = $h_A \cdot \cos \psi$ [m]

Pour les pylônes et les ouvrages protégés par des mesures de protection contre les **glissements de neige**, telles que des tripodes, le calcul de la pression de la neige peut se baser sur un facteur de glissement $N = 1,0$ et un facteur d'influence $\eta = 1+0,6 d_A/D$. L'action contre des pylônes fortement menacés par la pression de la neige peut être réduite par exemple par une berme en amont du pylône.

Exemple d'un calcul de pression de la neige

Densité de la neige ρ	=	300 kg/m ³
Hauteur de neige h_A	=	3 m
Déclivité ψ	=	30 °
Facteur de reptation K	=	$0,76 \cdot \sin 2\psi = 0,66$
Facteur de glissement N	=	2,0
Épaisseur de la neige d_A	=	$h_A \cdot \cos \psi = 2,6$ m
Diamètre du pylône B	=	1,3 m
Facteur d'influence η	=	$1+1,0 d_A/B = 3$

$$q_G = \rho \cdot g \cdot h_A^2 \cdot 0,5 \cdot K \cdot N \cdot \eta \cdot B/d_A \text{ [N/m']}$$

$$q_G = 300 \cdot 9,81 \cdot 3^2 \cdot 0,5 \cdot 0,66 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 1,3/2,6 = 26\,200 \text{ N/m}' = 26,2 \text{ kN/m}'$$

Tab. A.7.1: Facteur de reptation K en fonction de ρ et ψ .

	$\rho = 300 \text{ kg/m}^3$	$\rho = 400 \text{ kg/m}^3$
K	$0.76 \cdot \sin 2\psi$	$0.83 \cdot \sin 2\psi$

Tab. A.7.2: Classes de sol et facteur de glissement N (d^* est la grosseur moyenne des blocs, caractéristique de la rugosité du sol).

Classes de sol	Facteur de glissement N	
	Exposition ONO-N-ENE	Exposition ENE-S-ONO
Cl. I		
– Éboulis de gros blocs ($d^* \geq 30$ cm).		
– Terrain hérissé de blocs plus ou moins gros	1,2	1,3
Cl. II		
– broussailles de vernes ou de pins, hautes de 1 m au moins		
– gros mamelons (plus de 50 cm de haut) couverts de gazon ou d'arbrisseaux	1,6	1,8
– sillons (traces de vaches) profondément creusés		
– Éboulis grossiers ($d^* 10$ à 30 cm)		
Cl. III		
– gazon court coupé d'arbrisseaux (bruyère, rhododendrons, myrtilles, vernes en buissons et pins, hauts de moins de 1 m)		
– fin pierrier ($d^* \leq 10$ cm) mélangé de gazon et de buissons		
– petits mamelons, jusqu'à 50 cm de hauteur, couverts de gazon ou de buissons, éventuellement disséminés sur un gazon lisse	2,0	2,4
– gazon coupé de sillons peu profonds		
Cl. IV		
– chaume (prairie à herbe longue) lisse et uniforme		
– dalles lisses à stratification parallèle à la pente	2,6	3,2
– pierrier uni, mélangé de terre		
– vallonements marécageux		

Tab. A.7.3: Facteur d'influence η .

Glissement de neige	Exposition et classe de sol (conformément au tableau A.7.2)	Facteur d'influence η
Faible glissement de neige	Secteur nord, cl. I-IV	$1+0,6d_A/D$
Glissement de neige moyen	Secteur sud (en général cl. I-II)	$1+1,0d_A/D$
Fort glissement de neige	Secteur sud (en général cl. III-IV)	$1+1,5d_A/D$
Fort glissement de neige et emplacement défavorable (par ex. versant sud-ouest, sols lisses); le facteur 2 s'applique plutôt pour des grandes hauteurs de neige, facteur 4-6 pour de faibles hauteurs de neige.		$1+(2 \text{ bis } 6)d_A/D$

A.7.2 Pression de la neige contre les pylônes treillis

- Les pylônes treillis ne sont en général pas adaptés pour subir des actions de pression de la neige.
- Les pylônes treillis étroits (largeur < 2,0 m) seront considérés comme des obstacles pleins. Les treillis avec des espacements entre les barres < 1,0 m agissent également comme des surfaces pleines. L'action de la pression de la neige résultante sera répartie comme charge linéaire constante sur toutes les barres amont enfouies dans le manteau neigeux (membres d'angle comme les entretoises, fig. A.7.1).

- Pour les grands pylônes treillis (en général largeur $\gg 2$ m), l'évaluation de l'action exercée par la pression de la neige est beaucoup plus complexe, car pour les montants et les zones des nœuds, les barres sont peu espacées, alors qu'ailleurs les espacements sont importants. Les zones des montants et des nœuds (espacements < 1 m) seront en général considérées comme des surfaces pleines. Pour des espacements importants entre les barres (> 1 m), les actions exercées par la pression de la neige sur chaque barre peuvent être prises en considération, avec des effets de bord très renforcés (facteur d'influence voir tab. A.7.3 et ch. 4.6.2 de la directive technique Constructions d'ouvrages paravalanches dans la zone de décrochement, MARGRETH 2007).

Si certaines entretoises ou diagonales se trouvent dans le manteau neigeux, il faut prendre en compte les forces de tassement.

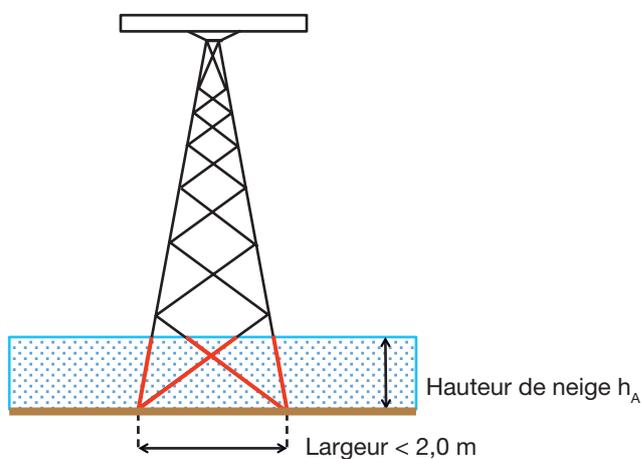


Fig. A.7.1: Pylône treillis: en rouge, longueur des entretoises à prendre en compte en cas de pression de la neige (hauteur de neige h_A).

A.8 Exemples: Résultats de calculs d'avalanches et de pression de la neige et détermination des actions exercées contre les pylônes.

Tab. A.8.1: Résultats des calculs pour les avalanches coulantes.

Période de retour T		100 ans	10 ans	
Zone de décrochement au-dessus du pylône 3, paramètres d'entrée				
Altitude		1920	1920	m d'altitude
Déclivité de la pente	ψ	31	31	°
Épaisseur de décrochement	d_0	1,1	0,85	m
Volume de décrochement		35000	4000	m ³
Catégorie de rugosité choisie (selon RAMMS)		Medium	Tiny	–
Pylône 3, calculs				
Déclivité de la pente au-dessus du pylône	ψ	28	28	°
Vitesse d'écoulement maximale	v	17	10	m/s
Hauteur d'écoulement (au moment de v_{max})	d	1,2	0,8	m
Hauteur de retenue contre le pylône	d_{stau}	3,4	2,0	m
Densité de la neige de l'avalanche	ρ	300	250	kg/m ³
Pression de l'avalanche contre un pylône tubulaire	q	44	13	kN/m ²
Action globale contre le pylône tubulaire, diamètre 1,3 m		164	29	kN

La vitesse d'écoulement maximale et la hauteur d'écoulement maximale ne surviennent souvent pas simultanément.

Tab. A.8.2: Résultats du calcul pour les avalanches poudreuses.

Période de retour T		100 ans	10 ans	
Zone de décrochement pylône 3, paramètres d'entrée				
Épaisseur de décrochement	d_0	1.1	–	m
Densité de la neige	ρ	150		kg/m ³
Hauteur de neige érodable (emportée)		0,4		m
Degré de suspension		0,12		
Pylône 3, calculs				
Hauteur de la couche de saltation	d_{salt}	2	–	m
Pression dans la couche de saltation	q_{salt}	5		kN/m ²
Pression dans la couche de suspension, au-dessus de la couche de saltation	q_{susp}	3,2		kN/m ²
Pression dans la couche de suspension, à 15 m de hauteur	q_{susp}	1,4		kN/m ²
Largeur de l'avalanche poudreuse	b	70		m

Tab. A.8.3: Résultats des calculs de pression de la neige (cas typique d'un versant de glissement de neige).

Période de retour T		30 ans	
Pylône 3, paramètres d'entrée et résultats du calcul			
Densité de la neige	ρ	300	kg/m ³
Déclivité de la pente	ψ	28	°
Hauteur de neige	h_A	2,9	m
Facteur de glissement	N	3,2	
Diamètre du pylône	B	1,3	m
Facteur d'influence $\eta = 1 + 1,5 d_A/B$	η	4	
Pression de la neige q_G par m' d'épaisseur de neige perpendiculaire au versant d_A	q_G	52	kN/m'

Tab. A.8.4: Actions exercées par les avalanches coulantes et la pression de la neige sur le pylône 3, informations pour l'ingénieur de projet.

Pylône 3			
Action accidentelle exercée par les avalanches (100 ans)			
Épaisseur de neige au départ de l'avalanche	d_A	0–2,5	m
Hauteur d'écoulement perpendiculaire au versant	d_F	1,2	m
Hauteur de retenue perpendiculaire au versant	d_{Stau}	3,4	m
Pression de l'avalanche contre le pylône tubulaire	$q_F = \rho \cdot v^2 / 2$	q_F	44 kN/m ²
Pression de l'avalanche sur le socle béton, écoulement perpendiculaire	$q_F = \rho \cdot v^2$	q_F	87 kN/m ²
Richtung der Einwirkung		nord	
Action variable (10 ans)			
Épaisseur de neige au départ de l'avalanche	d_A	0–2,5	m
Hauteur d'écoulement perpendiculaire au versant	d_F	0,8	m
Hauteur de retenue perpendiculaire au versant	d_{Stau}	2,0	m
Pression de l'avalanche contre le pylône tubulaire	$q_F = \rho \cdot v^2 / 2$	q_F	13 kN/m ²
Pression de l'avalanche sur le socle béton, écoulement perpendiculaire	$q_F = \rho \cdot v^2$	q_F	25 kN/m ²
Direction de l'action		nord	
Pression de la neige			
Épaisseur de la neige	d_A	2,5	m
Pression de la neige q_G par m' d'épaisseur de neige perpendiculaire au versant	q_G	52	kN/m'
Direction de l'action		nord	

Tab. A.8.5: Actions exercées par les avalanches poudreuses contre le pylône 3 et le tracé/le câble, informations pour l'ingénieur de projet.

		Pylône 3	Portée de câble aval du pylône 3	Portée de câble amont du pylône 3	
Action accidentelle (100 ans)					
Épaisseur de neige au départ de l'avalanche	d_A	0–2,5			m
Hauteur de la couche de saltation	d_{salt}	2			m
Pression dans la couche de saltation	q_{salt}	5			kN/m ²
Pression dans la couche de suspension, au-dessus de la couche de saltation	q_{susp}	3,2			kN/m ²
Pression dans la couche de suspension, à 15 m de hauteur	q_{susp}	1,4			kN/m ²
Pression dans la couche de suspension, à la hauteur du câble	q_{susp}		1,6	1,6	kN/m ²
Longueur de portée			40	30	m
Action variable (10 ans)					
Dans cet exemple sans action					

A.9 Explications sur les contenus possibles des expertises avalanches

1 Analyse du danger

1.1 Situation générale

- Installation à câbles: tracé de la ligne y compris pylônes (carte); type d'installation; affectation comme installation d'accès ou installation d'activités
- Descentes: tracés sur la carte
- Documents utilisés et programmes de calcul

1.2 Couloirs d'avalanches

- Délimitation des zones de décrochement le long de l'installation, y compris parois rocheuses raides au-dessus de ces zones (carte)
- Cadastre d'avalanches et éventuellement carte des dangers (s'il en existe une), notamment description des dommages sur des installations antérieures
- Mesures de protection contre les avalanches (y compris déclenchement artificiel d'avalanche).

1.3 Pression de la neige

- Emplacement des pylônes avec actions de la pression de la neige

1.4 Situation nivologique

- Hauteur globale de neige h_A notamment pour les emplacements des pylônes et des gares
- Neige fraîche: augmentation de la hauteur de neige tombée en trois jours + correction selon l'altitude des différentes zones de décrochement.

1.5 Calculs des avalanches

- Détermination de l'épaisseur de décrochement d_0 pour les différentes zones de décrochement
- Résultats des calculs conformément au chiffre 3.2, tableau 4, et à l'annexe A.8
- Évaluation des résultats (justifications, au cas où le spécialiste adapte des résultats).

1.6 Calculs de la pression de la neige

- Pression de la neige contre les pylônes: calcul conformément à l'annexe A.7 et résultats analogues à l'annexe A.8, tableau A.8.3
- Pression de la neige sur les grands ouvrages: calcul conforme à la Directive pour la Construction d'ouvrages paravalanches dans la zone de décrochement, MARGRETH 2007
- Évaluation des résultats

1.7 Évaluation des dangers pour l'installation à câbles

- Stations ou emplacements de station sans mesures de protection: danger marqué, moyen ou absent (éventuellement danger négligeable); mention de l'éventualité d'avalanches importantes pouvant atteindre l'emplacement depuis différentes directions (ch. 2.2.2).
- Pylônes: indications des pylônes sujets aux actions exercées par les avalanches et par la pression de la neige. Indication des emplacements de pylônes pouvant subir une forte action (ch. 2.2.2, tab. 3); mention de l'éventualité d'avalanches importantes pouvant atteindre l'emplacement depuis différentes directions (ch. 2.2.2).

- Câbles: tronçons avec pression dynamique des avalanches poudreuses à hauteur de câble $> 2,0 \text{ kN/m}^2$
- Tracé: tronçons menacés par des avalanches avec période de retour $T = 10 \text{ ans}$ et $T = 100 \text{ ans}$.
- Synthèse des dangers sur l'installation à câbles, en mentionnant notamment si ceux-ci sont importants (par exemple par analogie au tab. A.10.1.); on considère que le danger est important si plusieurs emplacements de pylônes peuvent être soumis à des fortes actions (tab. 3) ou si plus de 200 m du tracé peuvent subir des fortes actions exercées par des avalanches poudreuses, ou encore des zones de décrochement difficiles à sécuriser sont présente.

Tab. A.10.1: Évaluation des dangers menaçant l'installation à câbles.

X: le danger doit être pris en compte pour la vérification de la sécurité structurale
 -: danger faible, négligeable (pas de vérification de la sécurité structurale)
 0: pas de danger
 vide: période de retour d'avalanche pas à prendre en compte

Mise en danger	Avalanches				Pression de la neige
	action accidentelle		Action variable		
Période de retour (ans)	300	100	30	10	30
Station aval	X		0		0
Pylônes 1–3		X		0	0
Pylône 5		–		0	0
Pylônes 6–8		X		X	X
Station amont	X		0		0
Tronçons du tracé (par ex. avalanche poudreuse)					

1.8 Mesures constructives et mesures temporaires de protection contre les avalanches

- Description des mesures constructives et des mesures temporaires de protection nécessaires.
- Evaluation si le danger est suffisamment réduit avec les mesures proposées. Si les objectifs de protection ne peuvent pas être atteints, indication des possibles modifications du projet ou d'autres variantes.

2 Actions exercées par les avalanches et la pression de la neige

2.1 Actions exercées sur l'installation à câbles par les avalanches et la pression de la neige

- Actions pour l'ingénieur de projet, conformément à l'annexe A.8, tableaux A.8.4 et A.8.5; Indication de l'éventualité d'arbres emportés par l'avalanche.
- Indication de la possibilité d'occurrence simultanée des actions (pression de la neige, avalanche poudreuse, avalanche coulante).

2.2 Concept grossier des mesures constructives de protection contre les avalanches

- Ouvrages paravalanches: définition du périmètre des ouvrages, le cas échéant avec indication du nombre de rangées et de hauteur des ouvrages Dk (voir directives pour la Construction d'ouvrages paravalanches dans la zone de décrochement)
- Dignes, étraves: indication de l'emplacement, de la géométrie et de la hauteur côté avalanche.

3 Exploitation

3.1 Indications pour le concept d'exploitation et d'évacuation

- Description des mesures temporaires telles que les fermetures et les déclenchements artificiels d'avalanches
- Mesures nécessaires, si une évacuation (verticale) au sol est prévue

3.2 Indications pour la gestion et la surveillance des mesures de protection

- Maintien de l'efficacité des mesures constructives: par exemple évacuation de la neige derrière les digues, ou au-dessus des pylônes menacés par la pression de la neige à partir d'une certaine épaisseur.

4 Résumé

5 Annexe

- Carte de situation, carte des déclivités, couloirs d'avalanches, résultats de simulations, valeurs utilisées pour la détermination des actions, etc.

Verzeichnis der Schriftenreihe WSL Berichte

Waldschutz-Überblick 2015. Meier, F.; Queloz, V.; Forster, B.; Odermatt, O.; Angst, A.; Hölling, D., 2016. WSL Ber. 45: 32 S.

Debris-Flow Protection Systems for Mountain Torrents – Basic Principles for Planning and Calculation of Flexible Barriers. Wendeler, C., 2016. WSL Ber. 44: 297 pp.

Geschäftsbericht der Eidg. Forschungsanstalt WSL 2015. Eidg. Forschungsanstalt WSL (Hrsg.), 2016. WSL Ber. 43: 85 S.

Raumplanung in den Schweizer Gemeinden: Ergebnisse einer Umfrage. Kaiser, N.; Rudolf, S.; Berli, J.; Hersperger, A.; Kienast, F.; Schulz, T., 2016. WSL Ber. 42: 107 S.

Concilier bois-énergie et biodiversité en forêt. Chercher les synergies et atténuer les conflits. Energieholz und Waldbiodiversität. Synergien suchen und Konflikte mindern. Forum Suisse Romande. Institut fédéral de recherches WSL (ed.), 2016. WSL Ber. 41: 53 pp.

Ergebnisbericht über die Bevölkerungsbefragung «Leben mit Naturgefahren». Maidl, E.; Wiederkehr, B.; Buchecker, M., 2016. WSL Ber. 40: 126 S.

Météo, manteau neigeux et danger d'avalanche dans les Alpes suisses. L'année hydrologique 2014/15. Zweifel, B., 2016. WSL Ber. 39: 34 p.

Energie aus Landschaftspflegegrün. Müller, G.; Holderegger, R.; Bürgi, M., 2016. WSL Ber. 38: 56 S.

Schnee und Lawinen in den Schweizer Alpen. Hydrologisches Jahr 2014/15. Techel, F.; Zweifel, B.; Marty, C., 2015. WSL Ber. 37: 87 S.

Die Renaturierung und Revitalisierung von Fliessgewässern als Thema der Medien in eher alpinen ländlichen Regionen der Schweiz (2000–2013). Eine Medienanalyse im Rahmen einer Forschungskoooperation mit dem Renaturierungsfonds des Kantons Bern (RenF). Zemp, H.; Buchecker, M. (Red.) 2015. WSL Berichte 36: 57 S.

Raumansprüche von Mensch und Natur. Synthesebericht des WSL Programms. Tobias, S. (Red.), 2015. WSL Berichte 35: 103 S.

Lawinen und Recht. Proceedings zum Internationalen Seminar vom 1.–3. Juni 2015. Schweizer, J. (Red.) 2015. WSL Ber. 34: 156 S.

Forum für Wissen 2015. Von der Siedlungsentwicklung zur Landschaftsgestaltung. Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL (Hrsg.) 2015. WSL Ber. 33: 82 S.

Météo, manteau neigeux et danger d'avalanche dans les Alpes suisses. L'année hydrologique 2013/14. Stucki, T., 2015. WSL Ber. 32: 33 p.

Schnee und Lawinen in den Schweizer Alpen. Hydrologisches Jahr 2013/14. Techel, F.; Stucki, T.; Margreth, S.; Marty, C.; Winkler, R., 2015. WSL Ber. 31: 87 S.

Hintergründe der Akzeptanz von Regionalen Naturpärken. Frick, J.; Hunziker, M., 2015. WSL Ber. 30: 56 S.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Verkehr BAV