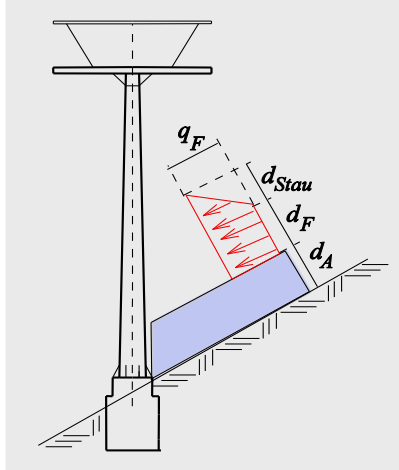




# Guide

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

Mark Schaer

Réunion technique 2015 – Technische Tagung 2015  
OFT/BAV – Division Sécurité / Abteilung Sicherheit - 17 juin/Juni 2015

# Sommaire

- Objectifs du guide
- Exigences de sécurité vis-à-vis des avalanches
- Dimensionnement face aux avalanches et à la pression de la neige
  - évaluation du danger d'avalanches par l'expert
  - dimensionnement des pylônes face aux avalanches
  - dimensionnement des pylônes face à la pression de la neige
- Questions



## Berücksichtigung der Lawinen- und Schneedruckgefährdung bei Seilbahnen

Ein Leitfaden für die Praxis

Stand 27. Mai 2015



Bundesamt für Verkehr (BAV)  
3003 Bern

WSL-Institut für Schnee-  
und Lawinenforschung SLF  
7260 Davos

## Introduction:

- Lancement du projet :  
il y a plus de 10 ans
- Collaboration entre SLF et l'OFT
- Consultation finale en 2013
- Document provisoire utilisé depuis  
plusieurs années



## Objectifs :

- Limiter les risques d'avalanches pour les passagers et le personnel
- Éviter des dégâts engendrés par les avalanches et la pression de la neige
- Définir des objectifs de sécurité (risques résiduels) et des exigences cohérentes
- Processus systématique pendant la planification et justification de la sécurité

## Différenciation selon le risque:

### Remontées mécaniques avec fonction de raccordement/d'accès



Une panne a des conséquences graves:

- l'installation est importante pour le retour des clients,
- une panne provoque des dommages économiques importants.

### Toutes les autres remontées mécaniques



La suspension d'activités n'a que de petites conséquences, par exemple pour le fonctionnement de la station de ski.

# Périodes de retour d'avalanches pour les stations

Tab. 1: Périodes de retour d'avalanche à considérer pour des remnontés mécaniques (r. m.)

| type d'objet          |                                                       | période de retour T |       |        |        |
|-----------------------|-------------------------------------------------------|---------------------|-------|--------|--------|
|                       |                                                       | 10 a.               | 30 a. | 100 a. | 300 a. |
| r. m. de raccordement | station                                               |                     | X     |        | X      |
| autre r. m.           | station                                               | X                   |       | X      |        |
| tous les r. m.        | pylôns;<br>câbles / tracé;<br>ouvrages de funiculaire | X                   |       | X      |        |

- Les règles pour des remontées mécaniques avec fonction de raccordement sont les mêmes que celles pour des zones à bâtir (RL BFF/SLF 1984).

# Périodes de retour d'avalanches pour les stations

Tab. 1: Périodes de retour d'avalanche à considérer pour des remnontés mécaniques (r. m.)

| type d'objet          |                                                       | période de retour T |       |        |        |
|-----------------------|-------------------------------------------------------|---------------------|-------|--------|--------|
|                       |                                                       | 10 a.               | 30 a. | 100 a. | 300 a. |
| r. m. de raccordement | station                                               |                     | X     |        | X      |
| autre r. m.           | station                                               | X                   |       | X      |        |
| tous les r. m.        | pylôns;<br>câbles / tracé;<br>ouvrages de funiculaire | X                   |       | X      |        |

- Pour les remontées mécaniques sans fonction de raccordement, on peut tenir compte que, pendant des périodes de danger d'avalanches, la remontée mécanique est mise hors service et qu'un dégât éventuel n'a pas de conséquence grave.
- *Toutes les stations dans les zones urbaines doivent être évaluées comme des stations de raccordement !*
- *Le cas échéant, des dispositions complémentaires cantonales sont à adopter.*

# Périodes de retour d'avalanches pour les pylônes

Tab. 1: Périodes de retour d'avalanche à considérer pour des remnontés mécaniques (r. m.)

| type d'objet          |                                                        | période de retour T |       |        |        |
|-----------------------|--------------------------------------------------------|---------------------|-------|--------|--------|
|                       |                                                        | 10 a.               | 30 a. | 100 a. | 300 a. |
| r. m. de raccordement | station                                                |                     | X     |        | X      |
| autre r. m.           | station                                                | X                   |       | X      |        |
| tous les r. m.        | pylônes;<br>câbles / tracé;<br>ouvrages de funiculaire | X                   |       | X      |        |

- Pour les pylônes, les exigences de sécurité concernant les avalanches sont réduites.

# Mise en danger des stations

Tab. 2: Définition des zones de danger pour des stations par suite des avalanches coulantes.

| Type d'objet                                                         | Degré de danger    |                                    |                                                                                     |                    |                                    |                                                                                     |
|----------------------------------------------------------------------|--------------------|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                      | danger marqué      |                                    |                                                                                     | danger modéré      |                                    |                                                                                     |
|                                                                      | p.retour<br>T [a.] | pression q<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | visuali-<br>sation                                                                  | p.retour<br>T [a.] | pression q<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | visuali-<br>sation                                                                  |
| Stations des remontés<br>mécaniques de<br>raccordement               | 30                 | > 0                                | rouge                                                                               |                    |                                    | bleu                                                                                |
|                                                                      | 300                | > 30                               |  | 300                | 0 < q < 30                         |  |
| Stations des remontés<br>mécaniques sans fonction<br>de raccordement | 10                 | > 0                                | orange                                                                              |                    |                                    | violette                                                                            |
|                                                                      | 100                | > 30                               |  | 100                | 0 < q < 30                         |  |

- Le degré de danger est marqué quand des avalanches coulantes d'une période de retour de 30 (resp. 10) ans atteignent une station,  
OU quand la pression d'avalanche d'une période de retour de 300 (resp. 100) ans est plus grande que 30 kN/m<sup>2</sup>.
- Le degré de danger est modéré quand des avalanches coulantes d'une période de retour de 300 (resp. 100) ans atteignent une station.

## Mise en danger des stations

- Dans la zone de danger marqué, pour construire des stations, il faut réduire le danger à un niveau de danger modéré ou inférieur. Pour cela, il faut des mesures constructives et permanentes afin de réduire le danger pour la station *y compris l'environnement de celle-ci*.
- Pour les stations en zone de danger modéré, *les éléments portants* doivent être dimensionnés avec les actions d'avalanche ou être protégés par des mesures constructives.
- Note: pour les stations aval en particulier, une protection par mesure constructive est souvent difficile à réaliser.

# Prise en compte de protection temporaire pour l'évaluation du danger d'avalanches

- Lors de l'évaluation du danger d'avalanches, on ne peut jamais tenir compte du déclenchement artificiel (même avec des installations fixes).
- Pour définir des zones de décrochement, les pistes de skis existantes et les pentes parcourues fréquemment sont à traiter comme un terrain non accessible.
- En fonction de la situation, on peut tenir compte de mesures d'exploitation telles que le déblaiement de la neige derrière une digue de protection remplie de neige.



## Références aux normes existantes

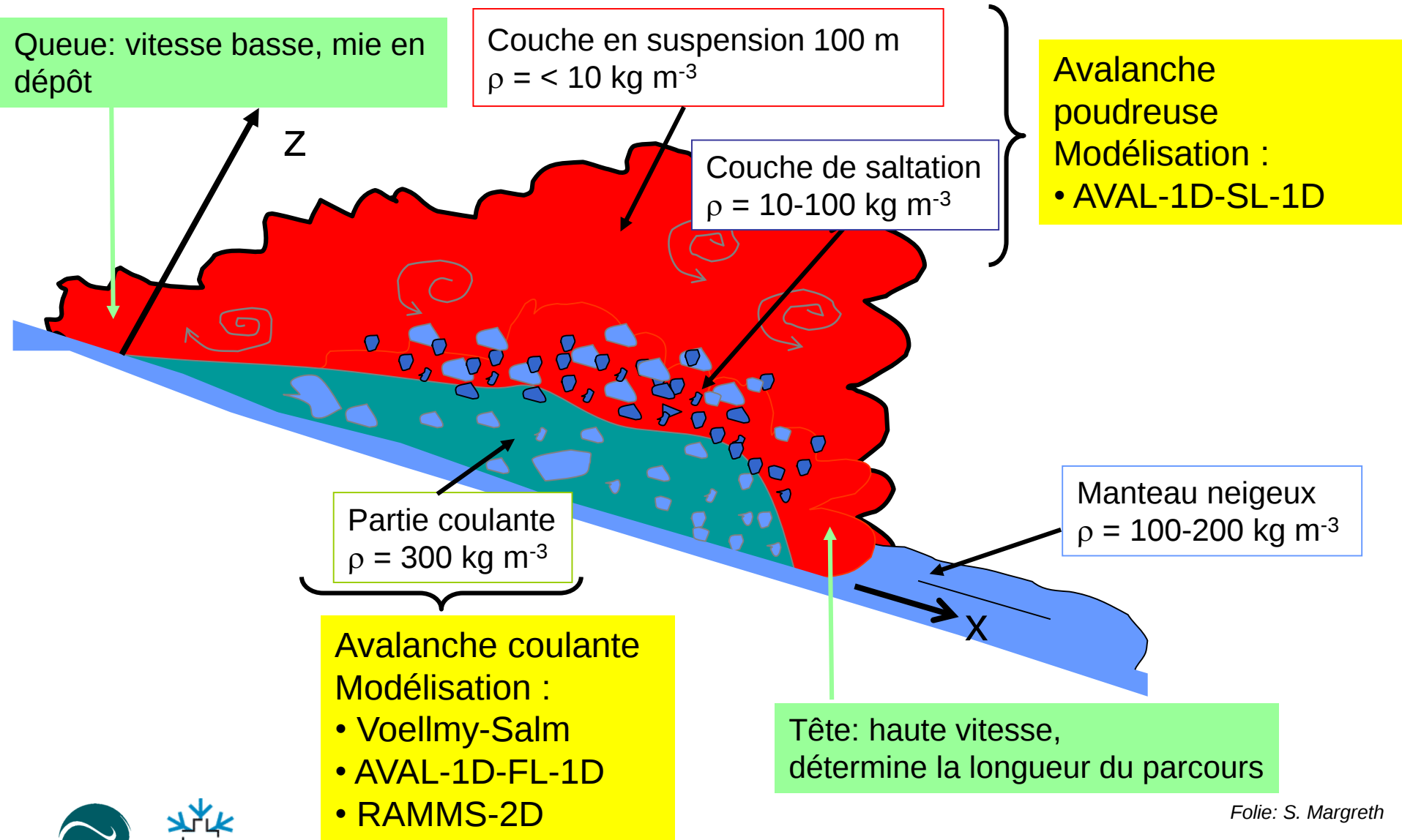
- Dans les normes pertinentes, les avalanches sont traitées comme des actions accidentelles. Cela est correct pour des avalanches avec une période de retour de 100 à 300 ans.
- Mais les avalanches d'une période de retour de 10 à 30 ans qui atteignent un ouvrage sont à traiter comme une action variable.
- Le contrôle de la résistance aux forces d'avalanches est à faire pour la situation hors exploitation; pour la pression de la neige hors *et en exploitation*.
- La pression de la neige et les avalanches ne sont pas des actions mutuellement indépendantes. **Ce guide définit comment les combinaisons de la pression de neige, des avalanches et des autres influences sont à traiter.**



## Combinaison des actions

- Action prépondérante : avalanche accidentelle (hors exploitation)
  - action concomitante : pression de la neige ( $\psi_2=0.5$ )
  - autres actions concomitantes (SN EN 13107)
- Action prépondérante : avalanche variable (hors exploitation)
  - action concomitante : pression de la neige ( $\psi_0=0.6$ )
  - autres actions concomitantes (SN EN 13107)
- Action prépondérante : pression de la neige (variable; hors/en exploitation)
  - action concomitante : avalanche variable hors exploitation ( $\psi_0=0.6$ )
  - autres actions concomitantes (SN EN 13107)
- Autres actions prépondérantes (variables ou accidentelles) selon SN EN 13107
  - action concomitante : avalanche variable hors exploitation ( $\psi_0=0.6$ )
  - action concomitante : pression de la neige en/hors exploitation ( $\psi_0=0.6$ )

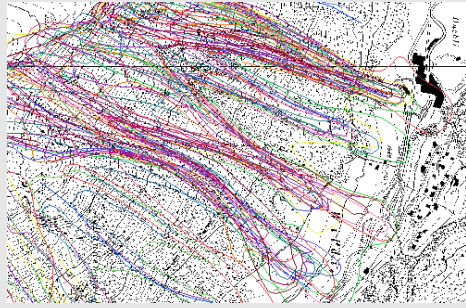
# Représentation actuelle de la structure d'une avalanche et de sa modélisation



Folie: S. Margreth

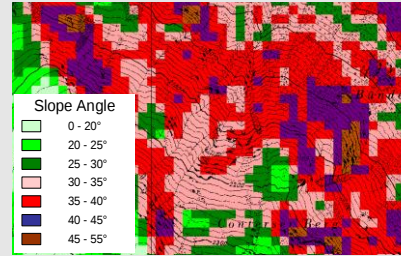
# Phases de travail pour l'évaluation du danger d'avalanches

## 1. Cadastre événement



## 2. Evaluation du terrain:

Carte: inclination, catégorie de profil

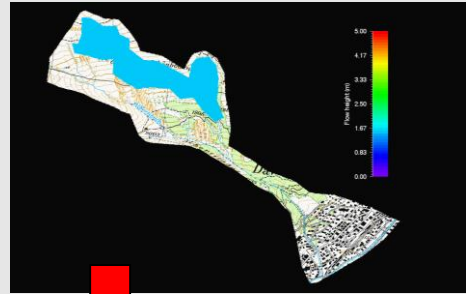


## 3. Inspection sur le site:

Points clés, témoins muets



## 6. Simulation numérique:



## 5. Elaboration de scénarii:

Type d'avalanches, volume



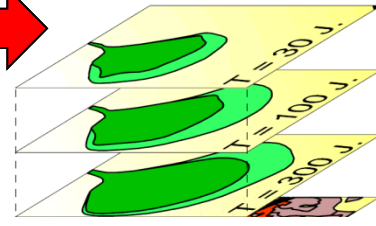
## 4. Temps/climat:

Enneigement, vent



Evaluation  
de l'expert

## Cartes d'intensités



## Carte des dangers



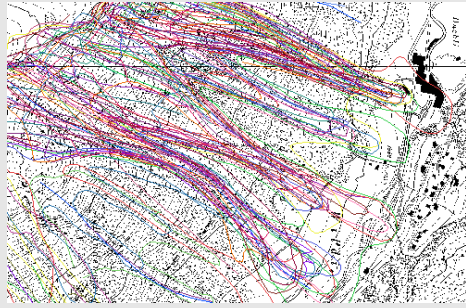
## Plan de zones



Autorités  
publiques

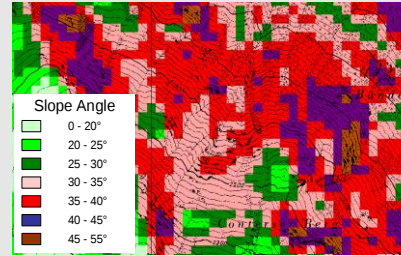
# Phases de travail pour l'évaluation du danger d'avalanches

## 1. Cadastre événement



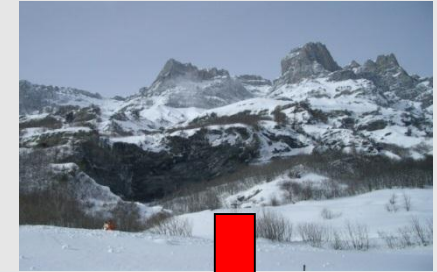
## 2. Evaluation du terrain:

Carte: inclination, catégorie de profil

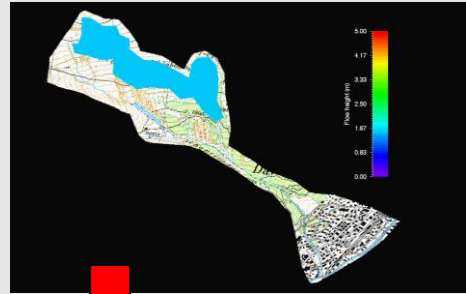


## 3. Inspection sur le site:

Points clés, témoins muets



## 6. Simulation numérique:



## 5. Elaboration de scénarii:

Type d'avalanches, volume



## 4. Temps/climat:

Enneigement, vent



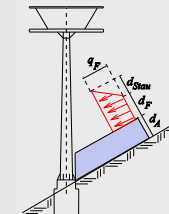
Evaluation  
de l'expert

Actions de l'avalanche

$$v_F, d_F, d_A$$

Ingénieur civil

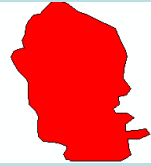
Dimensionnement



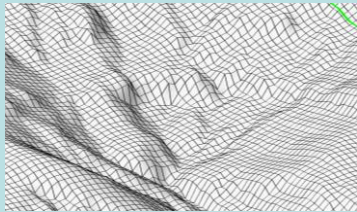
# Logiciel pour le calcul des avalanches RAMMS

- Logiciel numérique convivial avec des modules pour le calcul des avalanches, des laves torrentielles et des chutes de pierres
- 2d : démarcation de la zone de dépôt, hauteur d'écoulement, vitesse, pression d'impact
- Calibré entre autre grâce au site de recherches à grande échelle «Vallée de la Sionne» de SLF
- Fonctionnement SIG (inclinaison de la pente, courbure, manipulation du modèle altimétrique)

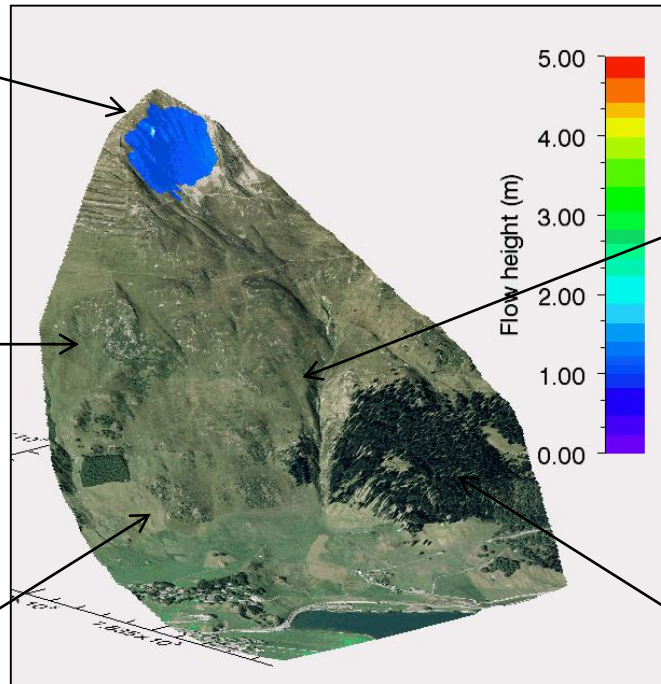
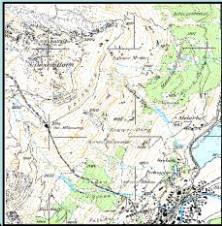
Zones de décrochement :  
hauteur de décrochement,  
démarcation, volume



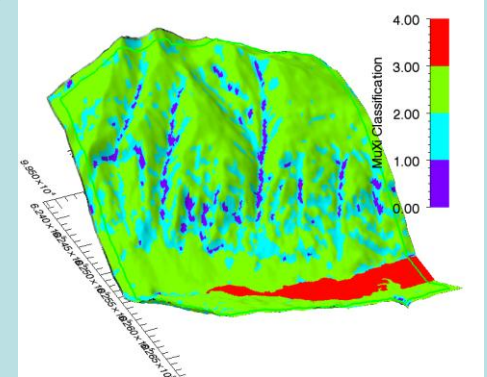
Modèle altimétrique



Carte / images aériennes

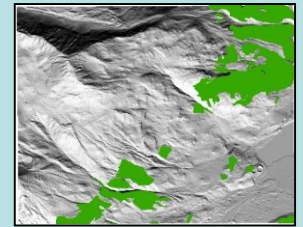


Classification du terrain:



Friction:  $\mu / \xi$

Forêt



## **Actions d'avalanches coulantes**

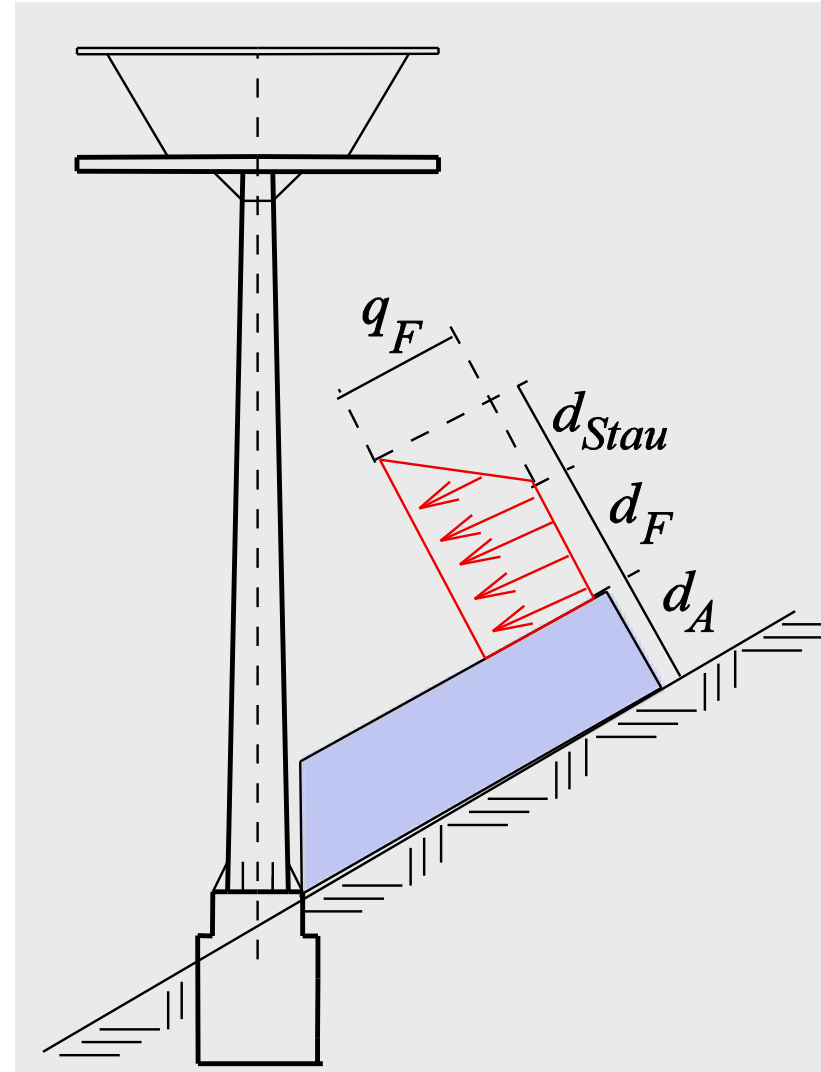
- L'annexe A5 du guide donne des instructions pour déterminer les actions des avalanches coulantes contre les ouvrages de génie civil.

# Actions d'avalanches coulantes

- Cas standard: action d'une avalanche coulante contre un pylône

$$q = c \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2}$$

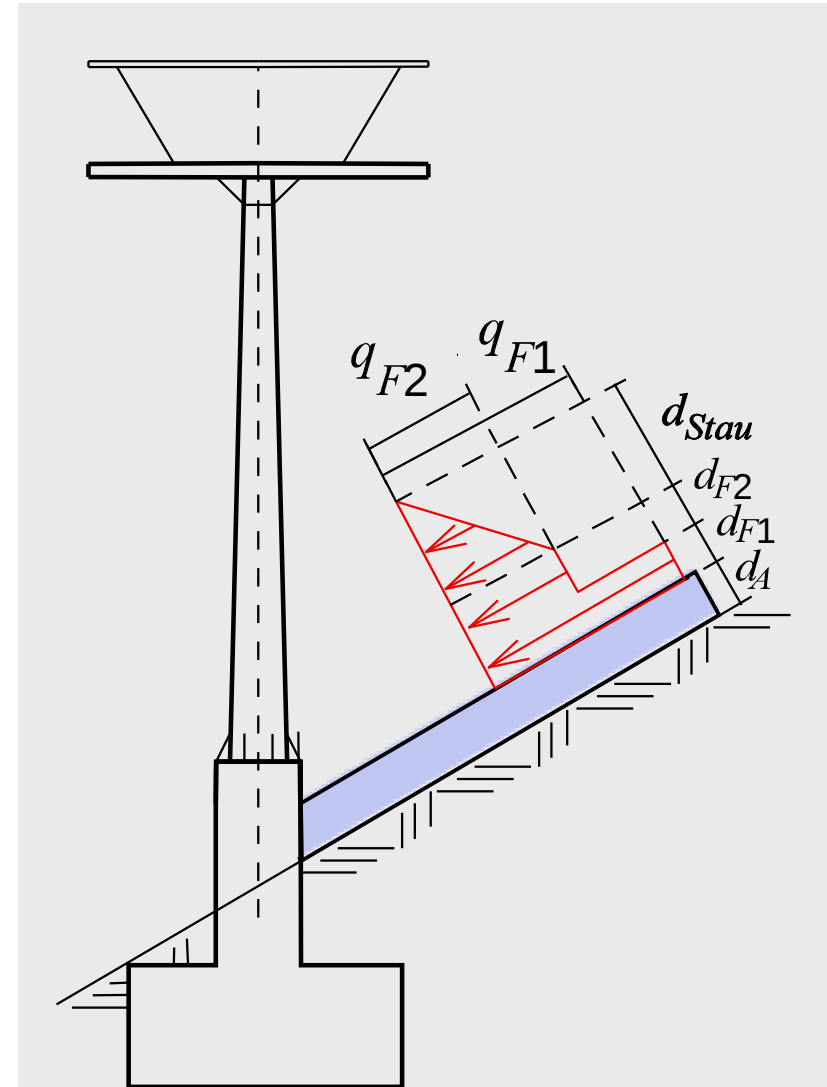
coefficient de traînée



# Actions d'avalanches coulantes

$$q = c \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2}$$

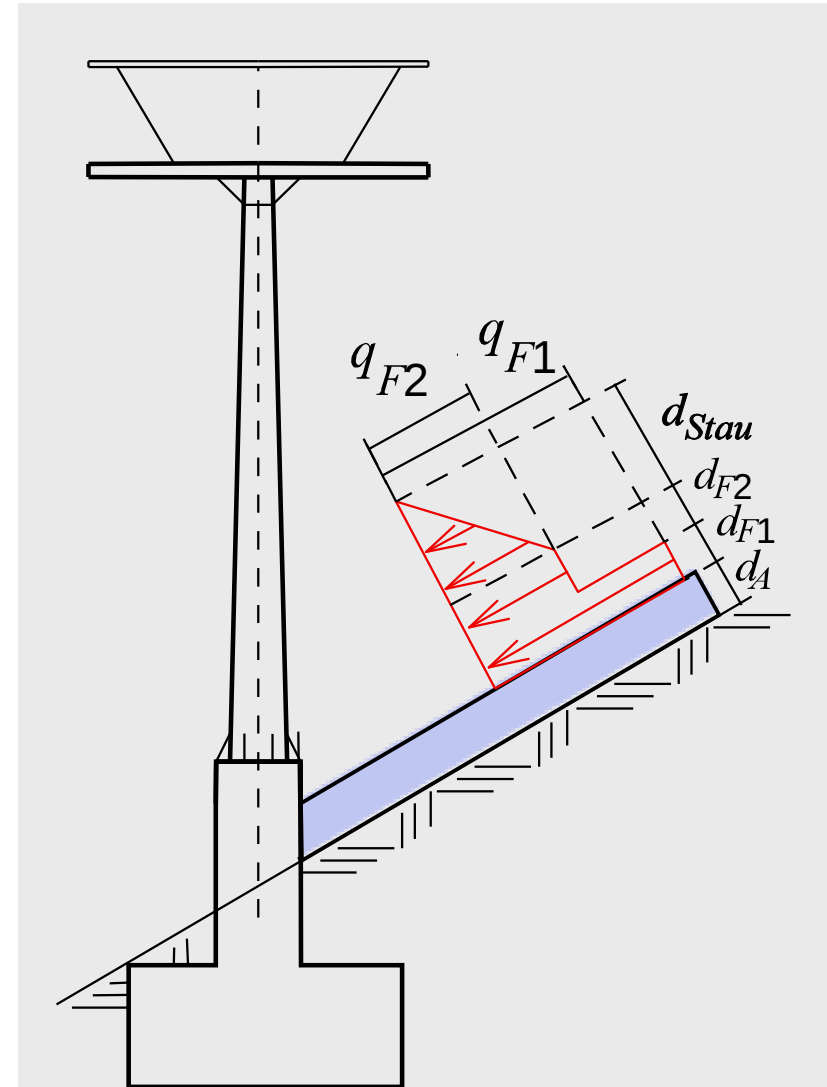
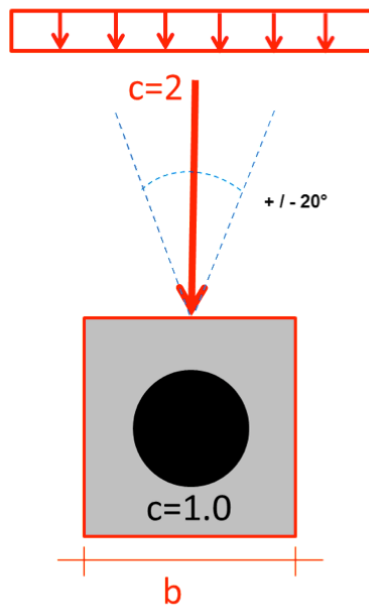
- Pylône tubulaire :  $c = 1$
- Socle:  $c$  est dépendant de la direction de l'avalanche



# Actions d'avalanches coulantes

$$q = c \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2}$$

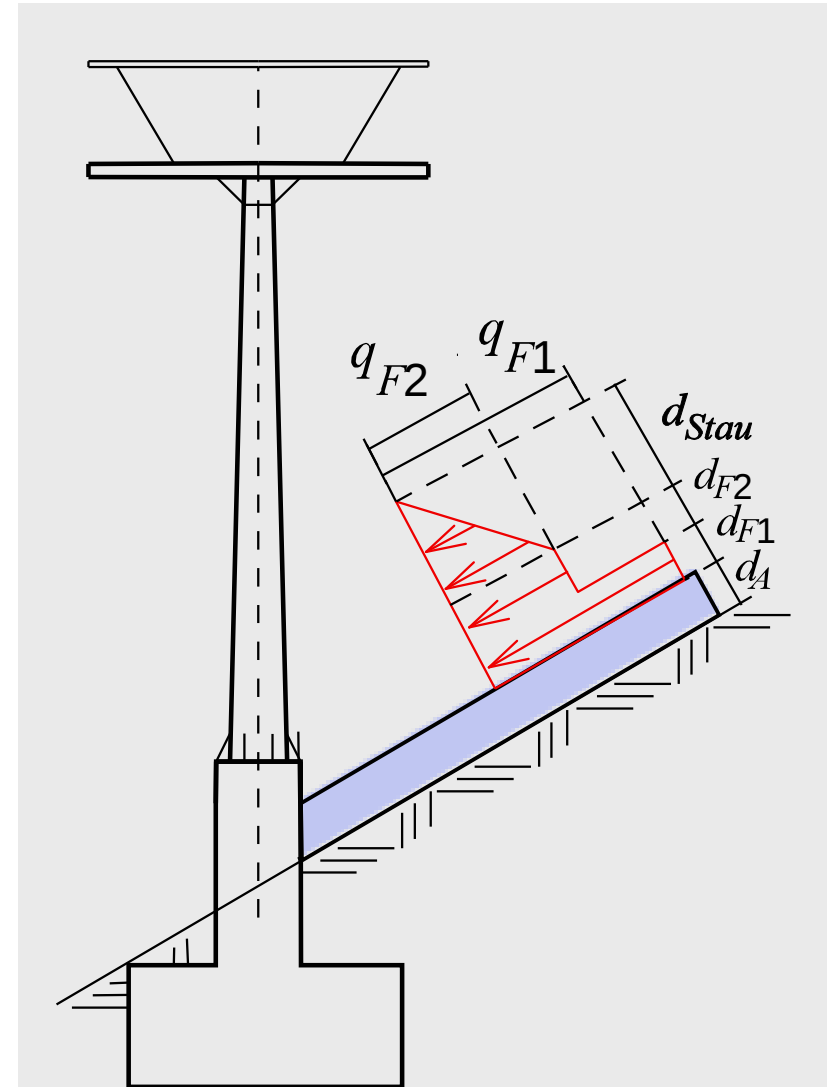
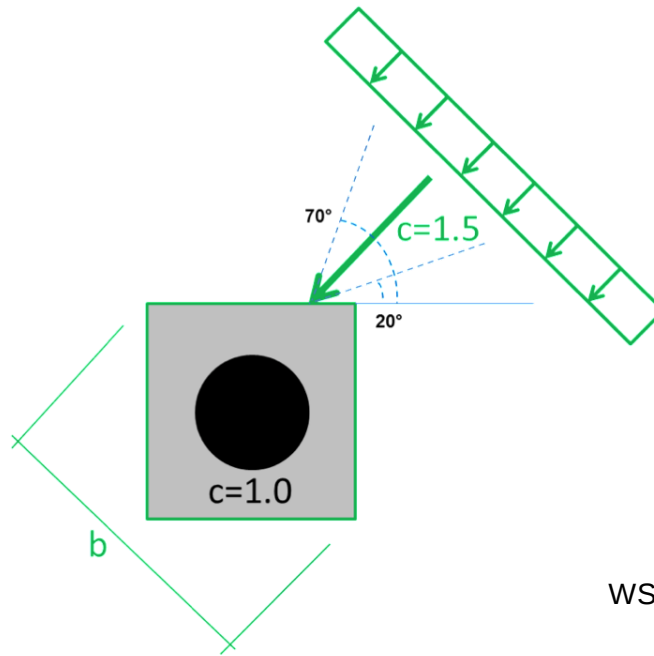
- Pylône tubulaire :  $c = 1$
- Socle:  $c$  est dépendant de la direction de l'avalanche



# Actions d'avalanches coulantes

$$q = c \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2}$$

- Pylône tubulaire :  $c = 1$
- Socle:  $c$  est dépendant de la direction de l'avalanche



# Hauteur de retenue d'avalanches coulantes contre les pylônes

$$d_{\text{Stau}} = v^2 \cdot f(b/d) / (2 \cdot g \cdot \lambda)$$

Facteur de réduction

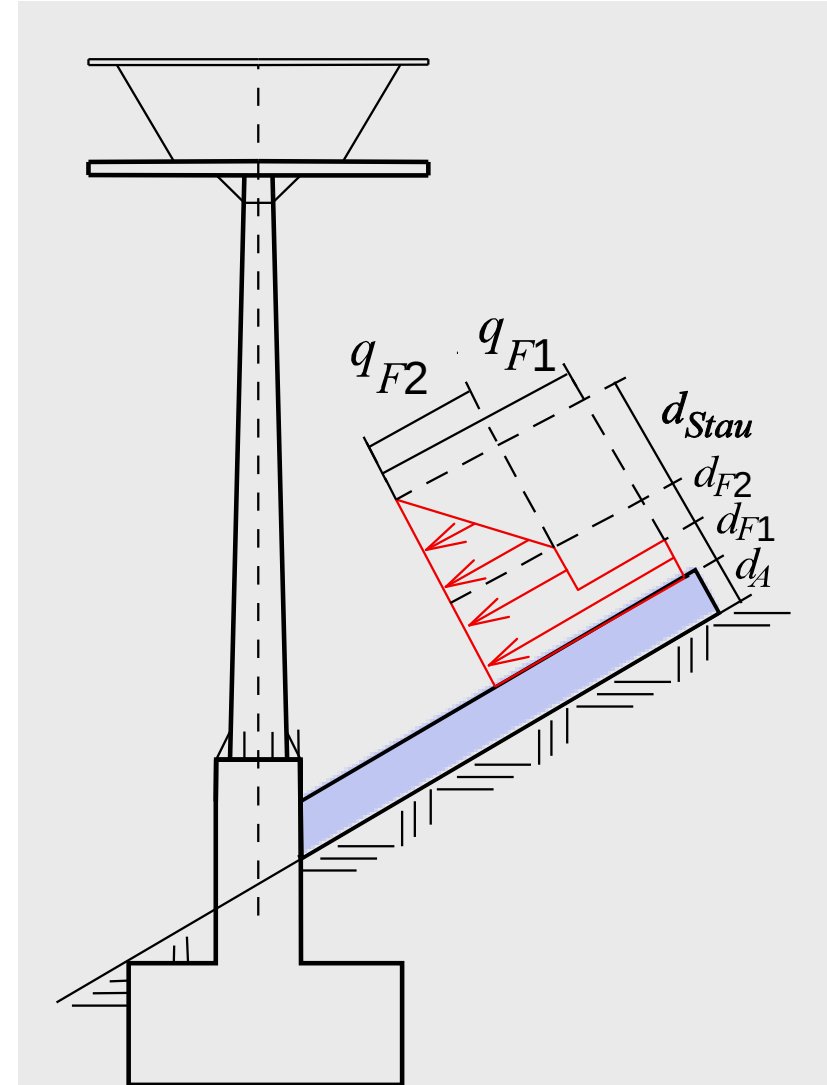
- Hauteur de retenue minimale (avalanches très rapides):

$$d_{\text{Stau}} \geq V_{\text{avalanche}} \cdot 0.1 \text{ s}$$

donc:

$$\text{si } v=30\text{m/s, on obtient } d_{\text{Stau}} \geq 3\text{m}$$

Voir annexe A5.3 pour les détails



## Pression de la neige

- L'annexe A7 contient des détails pour le calcul de la pression de la neige

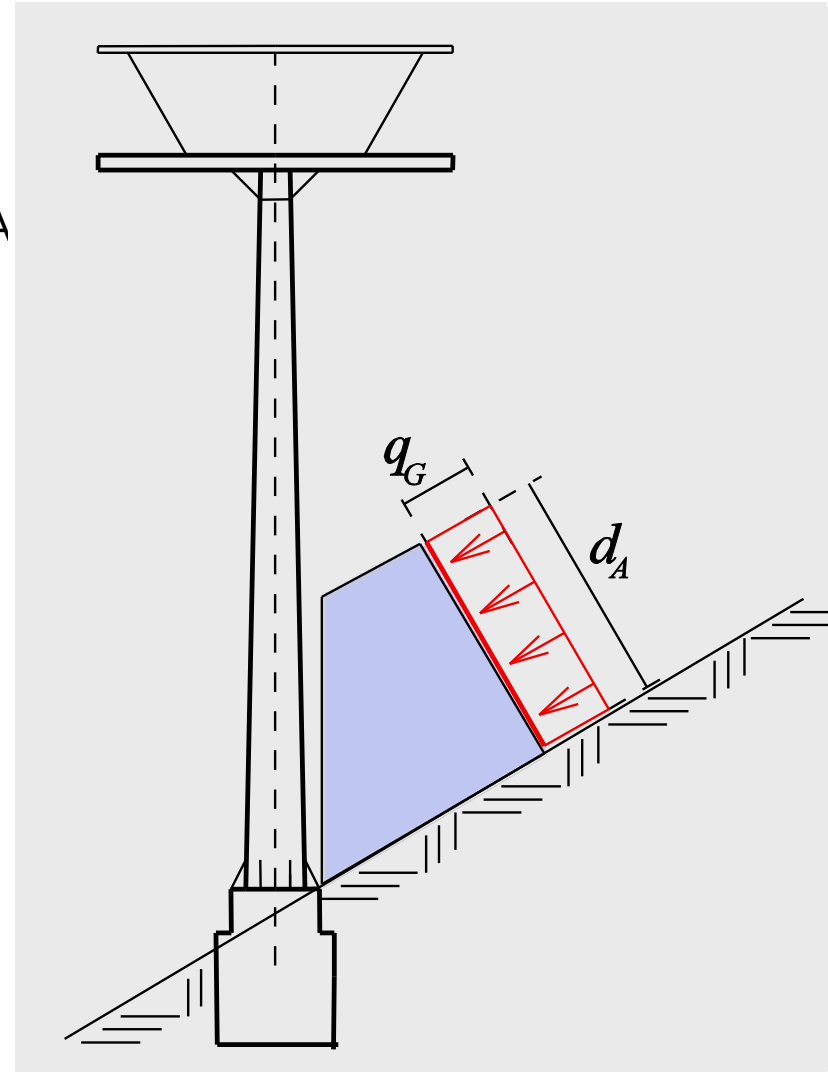
# Pression de la neige

Une plaque de neige en reptation ou glissante  
presse contre un obstacle

$$q_G = \rho \cdot g \cdot h_A^2 \cdot 0.5 \cdot K \cdot N \cdot \eta \cdot D/d_A$$

Pression sur un obstacle étendu

(Formule pour des ouvrages de stabilisation de  
la neige)



# Pression de la neige

Une plaque de neige en reptation ou glissante  
presse contre un obstacle

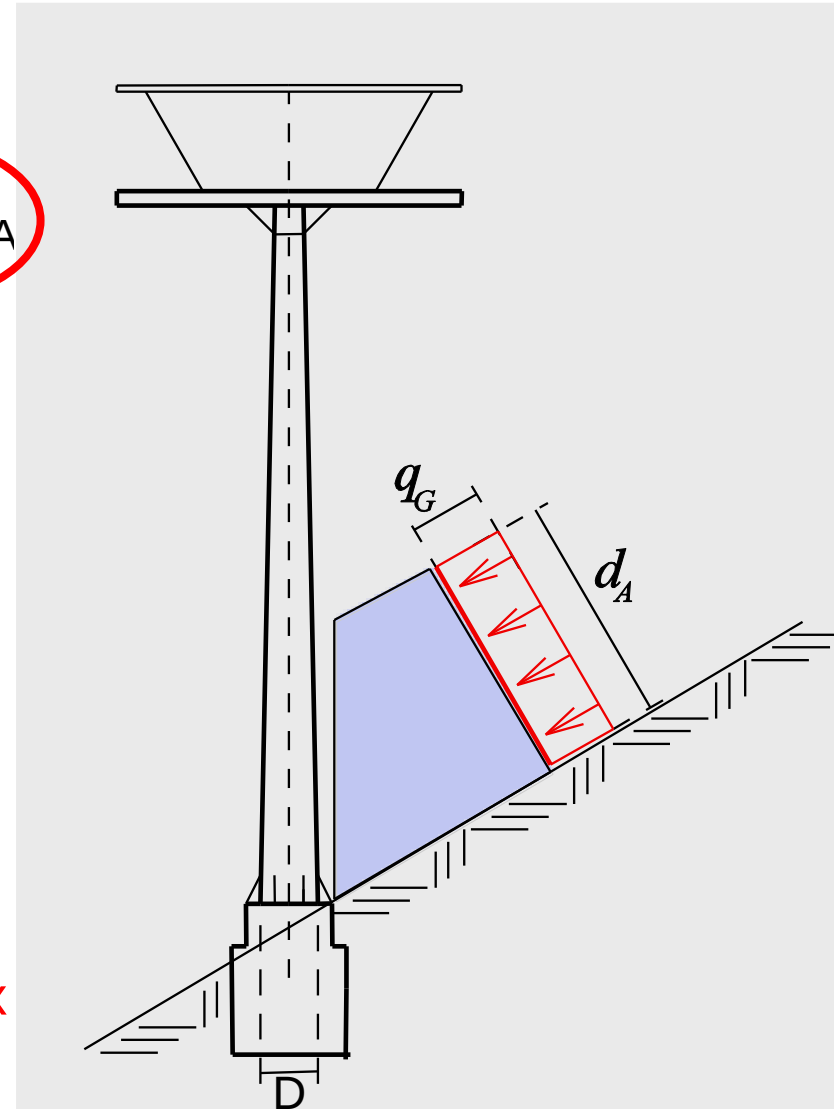
$$q_G = \rho \cdot g \cdot h_A^2 \cdot 0.5 \cdot K \cdot N \cdot \eta \cdot D/d_A$$

Effet de bord:  $\eta$  indique la relation entre la largeur de la plaque de neige et la largeur de l'obstacle.

- Une plaque de neige très étendue qui glisse peut s'appuyer contre l'obstacle

$$\eta = 1 + [0.3 \text{ bis } 6] \cdot d_A/D$$

Largeur de la plaque de neige =  
largeur de l'obstacle +  
0.3 à 6 fois la hauteur du manteau neigeux



# Pression de la neige

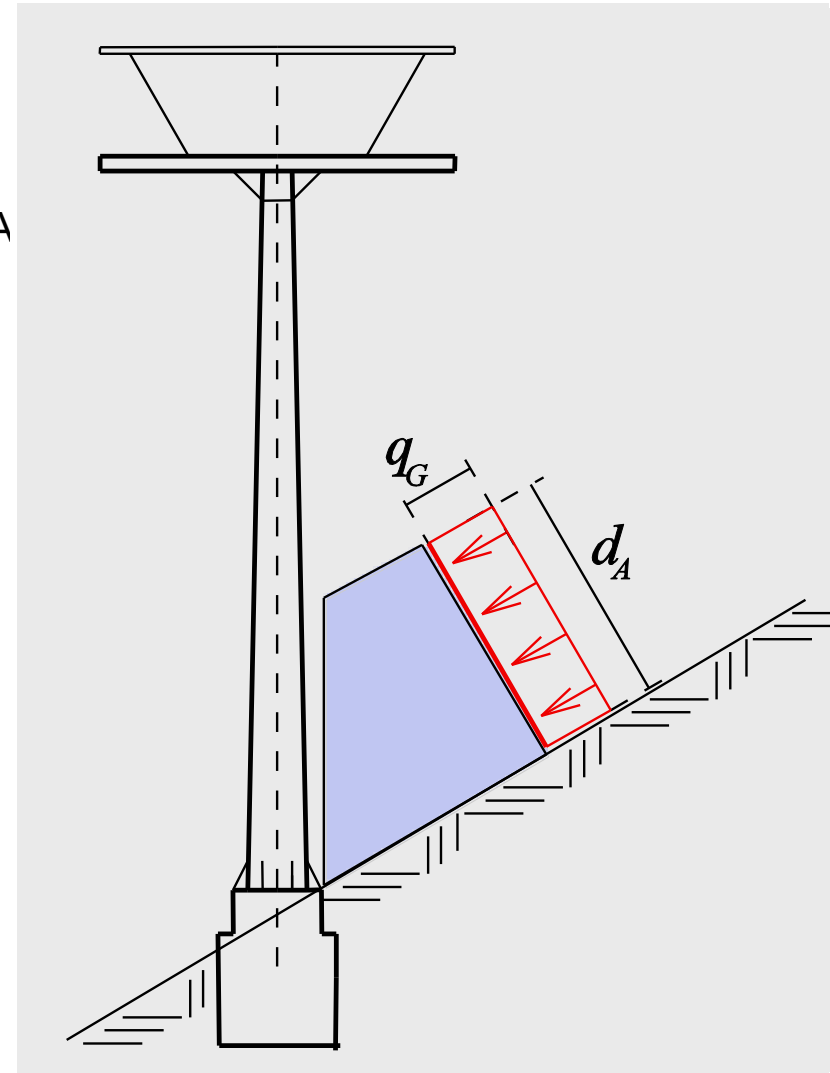


Foto: S. Margreth (Meiringen-Hasliberg 1999)

# Pression de la neige

$$q_G = \rho \cdot g \cdot h_A^2 \cdot 0.5 \cdot K \cdot N \cdot \eta \cdot D/d_A$$

La pression de la neige dépend plus fortement de la hauteur du manteau neigeux que des dimensions de l'obstacle.  
(On indique une force par mètre d'épaisseur du manteau neigeux [kN/m'], et non pas une pression)



# Pression de la neige

Pour des sinistres, des facteurs d'effet de bord ont été recalculés.

- les plus grand facteurs recalculés sont  
 $\eta = 1 + 10 d_A / D$
- à l'aide de risbermes, de trépieds ou de reboisements, on peut réduire fortement la pression de la neige



Foto: S. Margreth (Elm, 1999)

# Pression de la neige contre les pylônes-treillis

- Généralement, les pylônes-treillis ne sont pas de nature à résister aux forces des avalanches ou à la pression de la neige.



Foto: S. Margreth

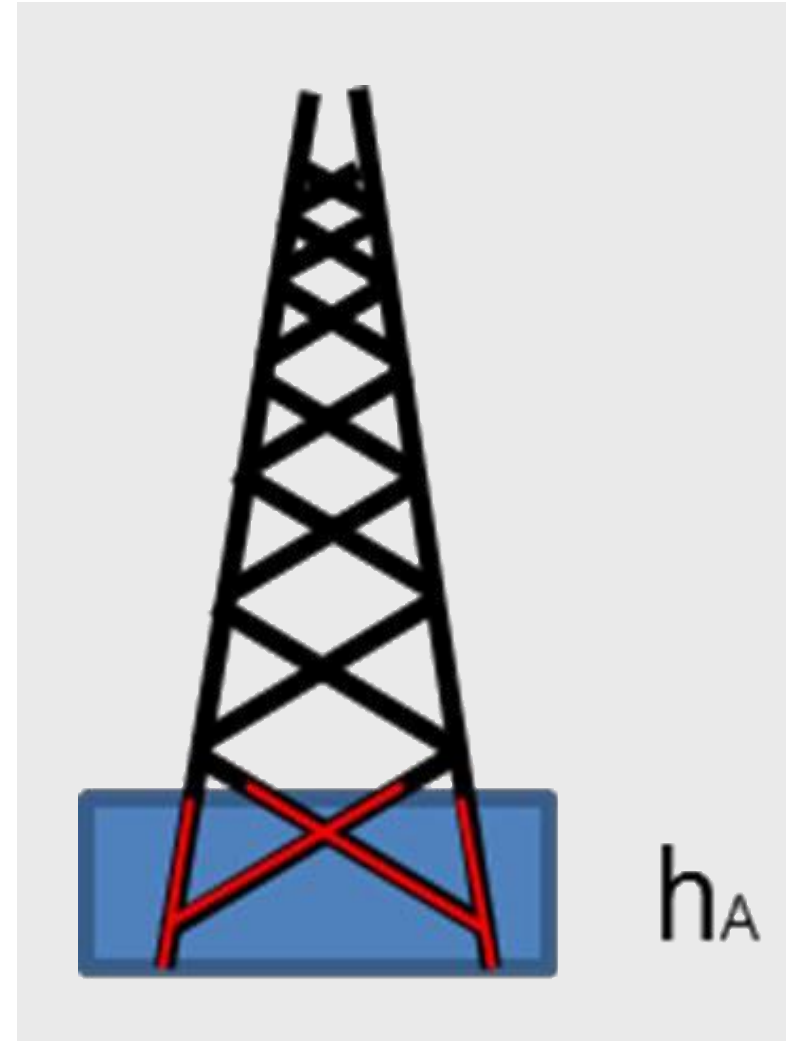
# Pression de la neige contre les pylônes-treillis

- Généralement, les pylônes-treillis ne sont pas de nature à résister aux forces des avalanches ou à la pression de la neige.



# Pression de la neige contre les pylônes-treillis

- Généralement, les pylônes-treillis ne sont pas de nature à résister aux forces des avalanches ou à la pression de la neige.
- Les pylônes-treillis réagissent comme un obstacle fermé.
- La force résultante doit être répartie comme charge linéaire uniformément sur chacun des profilés métalliques qui se trouvent dans la neige.



## Berücksichtigung der Lawinen- und Schneedruckgefährdung bei Seilbahnen

Ein Leitfaden für die Praxis

Stand 27. Mai 2015



Bundesamt für Verkehr (BAV)  
3003 Bern

WSL-Institut für Schnee-  
und Lawinenforschung SLF  
7260 Davos

## Calendrier :

- Version définitive en allemand :  
début juillet 2015
- Publication en allemand :  
août 2015
- Publication en français :  
fin 2015

# Questions ?

