

EVALUATION DES MESURES DE PROTECTION DES ROUTES CONTRE LES AVALANCHES

Espen Hammersland

Administration norvégienne des routes, Bergen
P.O. Box 3645 Fyllingsdalen, 5845 Bergen, Norway
TEL: + 47 55 51 60 00/FAX + 47 55 51 63 52
E-mail: espen.hammersland@vegvesen.no

1. Résumé

Il a été effectué une évaluation des mesures de protection mises en œuvre sur 161 sites routiers exposés aux avalanches. Nous présentons l'évaluation des 99 sites protégés par galeries ou ouvrages en terre. Cette évaluation se base sur des interviews, des reconnaissances sur le terrain et les données enregistrées sur la fermeture des routes avant et après la mise en place de la protection. L'expérience indique que l'efficacité des galeries est inférieure aux exigences. Ce manque d'efficacité est principalement dû au fait que les galeries sont soit trop courtes, soit mal adaptées au terrain, ou à la présence de parties exposées à l'entrée des galeries. Dans la plupart des cas, l'efficacité des ouvrages en terre est supérieure à 70 %. Les ouvrages en terre sont plus efficaces lorsqu'on a affaire à des avalanches de neige humide ou mouillée mais le sont moins en cas d'avalanches de neige sèche ou à demi fondue.

2. Introduction

En Norvège, les 25 dernières années ont été une période active en ce qui concerne la protection du réseau routier contre les avalanches. Les types les plus graves sont les avalanches de neige ou de neige fondante et les chutes de pierre. Les routes ont également été protégées à un degré moindre contre les apports de débris et de sédiments provenant des rivières.

Traditionnellement, les principales mesures de protection étaient la construction de tunnels ou de galeries en béton. Au cours des deux dernières décennies, plusieurs mesures alternatives ont été utilisées, à savoir ponts, ouvrages en terre, structures de retenue, détection des avalanches et techniques de dynamitage. D'une manière générale, ces dernières mesures sont moins coûteuses mais ne représentent des solutions alternatives que pour certains types spécifiques d'avalanches et de terrains.

L'an dernier, il a été effectué une étude exhaustive visant à évaluer l'efficacité des mesures mises en œuvre. L'objectif principal de cette étude était de collationner les expériences recueillies quant aux différents types de protection, de manière à améliorer dans l'avenir la conception de la protection des routes de Norvège exposées aux avalanches.

3. Types de mesures de protection examinées

La présente recherche est basée sur des interviews des équipes locales de maintenance et des inspecteurs, sur des reconnaissances effectuées sur les lieux en question, ainsi que sur les données relatives aux avalanches enregistrées avant et après la mise en place des mesures de protection. L'exactitude des données enregistrées est variable, mais nous pensons qu'un recoupement entre données enregistrées et interviews pourra donner une précision suffisante pour que les résultats puissent être utilisés à des fins de statistique.

Il a été procédé à l'évaluation des mesures proactives suivantes:

Type	No.	Description et utilisation
Galeries	62	Tous types d'avalanches et de terrains
Ouvrages en terre	37	Digues de déviation et de collecte. Remblais. Terrain doux et avalanches de petite ou moyenne taille
Galeries de type buse	5	Terrain doux et tous types d'avalanches
Larges fossés routiers	3	Petites avalanches uniquement
Structures de retenue	13	Comprenant filets et principalement pour chutes de pierres. Ont été utilisées pour petites avalanches de neige.
Ponts routiers	4	Avalanches de petite ou moyenne taille, là où les routes traversent des ravins.
Déviations des routes	2	Surtout dans les terrains en pente douce, là où la déviation peut être de longueur limitée.
Dynamitage	5	Trois types de techniques de dynamitage, détonation contrôlée par radio ou câble de charges précédemment mises en place et utilisation de bennes sur câbles.
Détection des avalanches	3	Les avalanches sont détectées par un géophone qui déclenche des feux rouges sur la route.
Tunnels	13	Tous types d'avalanches.
Filets anti-pierres	14	Protègent contre les chutes de glace.

Le présent rapport ne traite que des expériences recueillies sur les deux types les plus courants, à savoir galeries et ouvrages en terre.

3. Efficacité des mesures de protection

3.1 Définition du mot "efficacité"

La construction des ouvrages de protection a deux objectifs principaux, à savoir accroître la sécurité des usagers des routes et réduire le temps de fermeture des routes.

Les accidents dus aux avalanches se classent en trois groupes:

Une avalanche frappe les voitures ou les piétons se trouvant sur la route

Une nouvelle avalanche frappe les voitures ou les piétons attendant l'ouverture de la route

Une avalanche frappe l'équipe de maintenance lors de l'ouverture d'une route fermée en raison d'une avalanche précédente

Les expériences recueillies en Norvège indiquent que les proportions sont pour chaque groupe d'environ 20, 40 et 40 % respectivement. Lorsque l'on protège une route exposée aux avalanches, il est donc important de protéger les pentes qui libèrent des masses de neige plusieurs fois au cours d'une avalanche ou les endroits où les pentes sont proches les unes des autres.

De la même manière, une réduction du temps de fermeture est fonction de la protection de la route contre toutes les avalanches qui peuvent se produire au cours d'une même situation météorologique. Ainsi, si seuls deux des trois sites d'avalanches d'une portion de route donnée sont protégés, la protection n'aura qu'un effet limité sur le temps de fermeture. La meilleure méthode d'évaluation de l'efficacité des protections serait de prendre en compte tant l'amélioration de la sécurité que la réduction du temps de fermeture de la portion de route. Malheureusement, les données enregistrées n'ont pas la précision nécessaire pour qu'il soit possible de définir cette efficacité. La seule manière de définir en pratique l'efficacité s'est révélé être de baser l'évaluation sur la réduction des fermetures attribuable à la protection. L'efficacité, E, est ainsi définie comme:

$$E = \left(1 - \frac{\text{Nombre de fermetures après protection}}{\text{Nombre de fermetures avant protection}}\right) 100 [\%]$$

3.2 Efficacité requise

Une question importante qui se pose lors de la conception et de l'évaluation des ouvrages de protection est: "Quelle est l'efficacité requise?" A l'heure actuelle, il n'y a pas sur le plan national de lignes de conduite spécifiques permettant de répondre à cette question. L'efficacité requise peut être exprimée en termes de fréquence des fermetures ou de fréquence des avalanches entraînant la fermeture de la route après la mise en place de la protection.

La fréquence acceptable des avalanches dépend habituellement du volume de circulation et de l'importance de la route. Dans tous les cas, une protection de 100 % est une exigence trop dure, qui obligerait à adopter des mesures trop onéreuses, et ferait que cette protection ne serait jamais construite ou qu'elle le serait aux dépens d'autres portions de route à circulation moindre.

Dans la présente évaluation, la définition de l'efficacité exigée varie en fonction du coût des mesures de protection. Les ouvrages coûteux, tels que tunnels et galeries, sont généralement des mesures permanentes, et devraient donc avoir un haut degré d'efficacité. Dans notre cas, nous avons retenu une efficacité de 90 %.

Les ouvrages en terre sont généralement beaucoup moins onéreux que les galeries. D'une manière générale, le coût par mètre n'est que de 5 à 20 % de celui des galeries. Mais il faut accepter une efficacité légèrement inférieure en raison d'un investissement moindre. D'un autre côté, les usagers de la route ne s'intéressent qu'au nombre de fermetures, quelles que soient les mesures de protection utilisées. L'efficacité acceptable ne devrait toutefois pas être fixée trop bas. La présente évaluation se base sur une protection satisfaisante, dont le degré d'efficacité est de 70 %.

4 Evaluation des galeries

4.1 Galeries évaluées

L'utilisation à grande échelle des galeries a débuté dans la décennie 1960, et l'âge moyen des 60 ouvrages évalués est de 22 ans. Les galeries sont surtout utilisées sur les routes à faible circulation, où le trafic moyen varie entre 75 et 2000 véhicules par jour. Le coût d'une galerie à deux voies est aujourd'hui d'environ USD 12.000 par mètre.

4.2 Efficacité enregistrée

La Fig. 1 montre qu'un fort pourcentage des galeries ne remplissent pas les exigences requises pour une conception satisfaisante. 40 % seulement ont une efficacité supérieure ou égale à 90 %, et non moins de 23 % ont une efficacité inférieure à 70 %. Ce résultat est insatisfaisant et indique clairement qu'il est nécessaire de procéder à de plus amples études de détail pour découvrir systématiquement les faiblesses dans la conception de nos galeries.

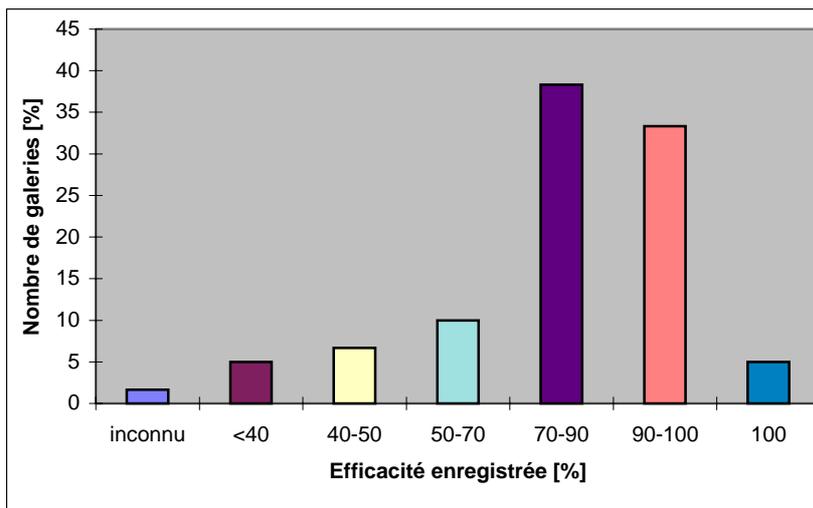


Figure 1. Efficacité enregistrée pour les galeries évaluées

L'efficacité est analysée plus avant en relation avec les paramètres suivants (Fig. 2,3 et 4):

Longueur des galeries

Fréquence des avalanches

Âge de la construction.

La Fig. 2 montre clairement que l'efficacité des galeries de moins de 30 m est trop faible, environ 50 %, contre une efficacité de plus de 80 % pour les galeries plus longues. La plupart des galeries à faible efficacité se trouvent parmi les galeries les plus courtes.

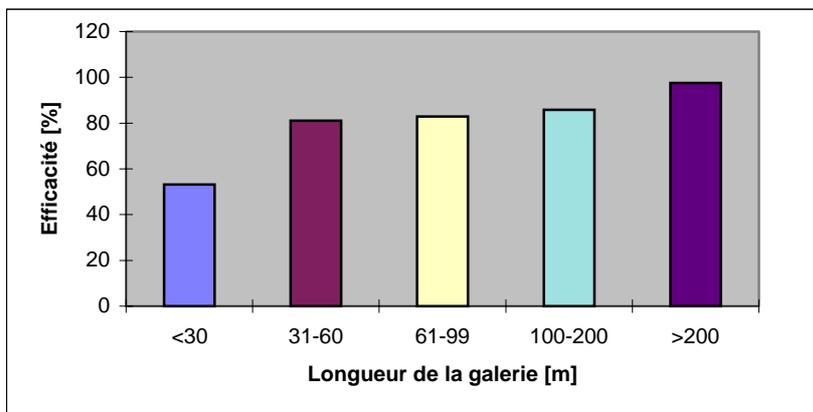


Figure 2. Efficacité par rapport à la longueur de la galerie

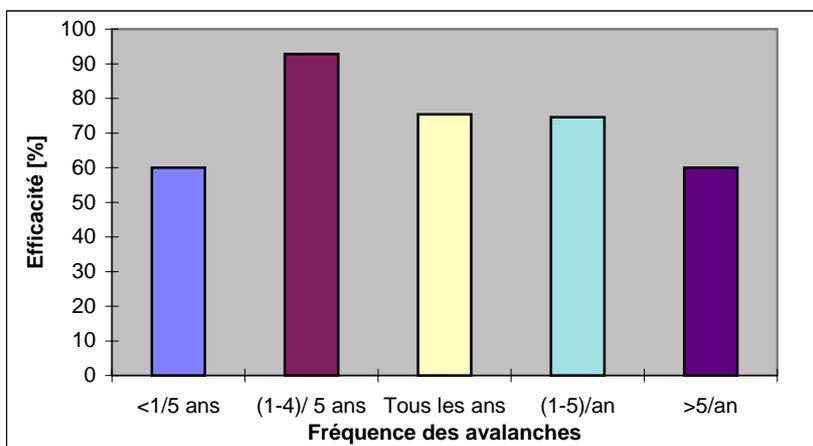


Figure 3. Efficacité par rapport à la fréquence des avalanches

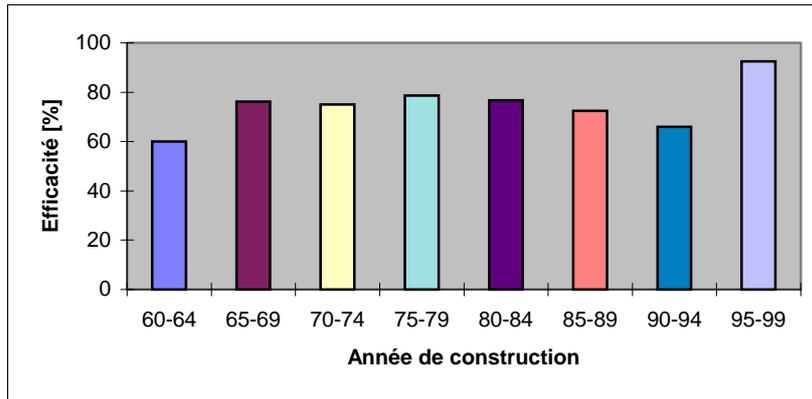


Figure 4. Efficacité par rapport à l'année de construction

Une faible efficacité est également enregistrée pour les galeries protégeant des sites où les avalanches sont très fréquentes, Fig. 3. Les sites où la fréquence des avalanches est la plus élevée se trouvent généralement dans des ravins précis où les couloirs d'avalanche sont étroits et bien délimités. Les résultats présentés dans les Fig. 2 et 3 correspondent donc bien.

La nécessité de procéder à des évaluations ressort de la Fig. 4, qui montre que depuis la décennie 1960, il n'y a pas eu d'accroissement de l'efficacité. La faible efficacité des galeries des années 90/94 est le résultat de la construction de galeries courtes sur routes à faible circulation au cours de cette période.

4.3 Evaluation des résultats

Les raisons principales de l'insuffisance générale d'efficacité des galeries sont, selon notre étude, les suivantes:

Les galeries ne sont conçues que pour les types les plus fréquents d'avalanches. Les types les moins fréquents coupent alors la route à une extrémité ou aux deux. La raison pour laquelle les galeries sont construites trop courtes est le coût élevé de l'investissement.

Une mauvaise adaptation entre le terrain et la galerie. En pratique, cela signifie que digues et murs de déviation manquent ou ne sont pas assez hauts.

Une galerie fait que l'avalanche traverse la route 6 mètres plus haut qu'avant la construction. Il y a en général un toit-tremplin à faible pente qui freine la plupart des avalanches et en augmente la largeur. Cet élargissement n'est pas pris en compte lors de la conception des galeries.

En particulier, les galeries courtes n'ont pas une capacité de stockage suffisante pour recevoir plus d'une ou deux avalanches.

Les galeries construites sur piliers sont souvent remplies de neige s'introduisant par le côté ouvert.

La première conclusion est que les galeries devraient faire plus de 30 m de long au moins. Il devrait aussi y avoir la place de stocker 2-3 avalanches sur le toit. Le terrain situé en amont de la galerie devrait être creusé de rigoles, en plus des digues et des murs de déviation.

En raison de leur faible efficacité, il a été nécessaire de reconstruire 45 % des galeries. Cette reconstruction comprenait:

- Extensions.
- Reconstruction de digues et de murs de béton.
- Construction d'un mur dense sur le côté ouvert.
- Creusement de rigoles de drainage sur le toit des galeries pour éviter l'obturation des canalisations sous la galerie

La reconstruction des galeries en a augmenté l'efficacité de plus de 20 % dans 90 % des cas, et, dans 50 % des cas, l'efficacité des galeries reconstruites a été amenée à 90 % ou plus. D'une manière générale, la reconstruction est considérée comme un succès.

5. Evaluation des ouvrages en terre

5.1 Ouvrages en terre évalués

L'utilisation des ouvrages en terre comme mesure de protection en soi n'a été introduite en Norvège qu'en 1976. Ce type de protection comprenait digues de déviation, digues de collecte et remblais. Ce sont toujours les ouvrages en terre les plus utilisés. Cependant, les ouvrages en terre ont depuis été utilisés comme mesure unique de protection pour plusieurs sites d'avalanche. Notre présentation se base sur l'évaluation de 37 sites différents. Ces sites couvrent toutes les régions de Norvège et sont exposés à différentes conditions climatiques, allant des zones côtières aux massifs montagneux.

L'âge moyen des ouvrages de protection est de 12 ans. Ce type d'ouvrage va des digues de déviation et de collecte aux remblais et aux magasins. Ce dernier type implique le creusement de larges fossés et peut dans une certaine mesure être combiné avec des digues de collecte.

5.2 Efficacité enregistrée

Notre évaluation indique que 75 % des ouvrages en terre remplissent le critère des 70 % d'efficacité, et que plus de 20 % ont un degré d'efficacité supérieur à 90 %, Fig. 6.

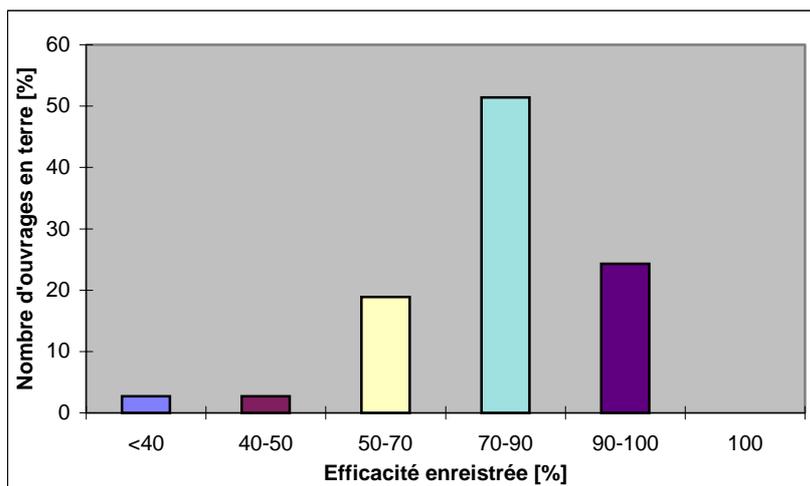


Figure 5. Efficacité enregistrée pour les ouvrages en terre évalués

Vu la modicité des investissements et la période limitée d'expérimentation, nous considérons ce résultat comme assez satisfaisant.

L'efficacité a été évaluée selon les paramètres suivants:

Figure 6. Efficacité par rapport à la fréquence des avalanches.

Figure 7. Efficacité par rapport à l'investissement

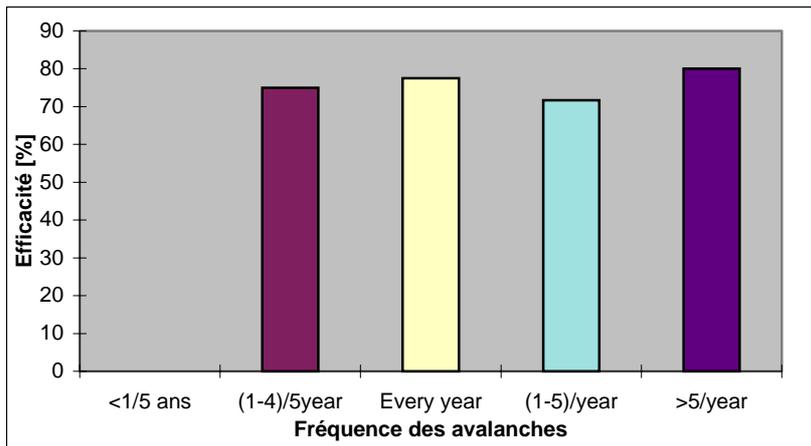


Figure 6. Efficacité par rapport à la fréquence des avalanches

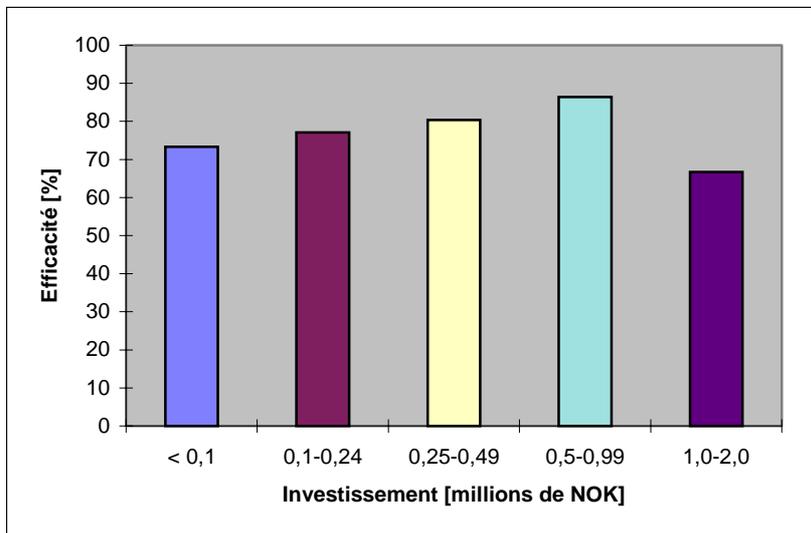


Figure 7. Efficacité par rapport à l'investissement

La Fig. 6 montre que l'efficacité dépasse 70 % dans toute la gamme de fréquences, et il n'est pas possible de trouver une tendance en termes d'efficacité par rapport à la fréquence. On pourrait, peut-être, attendre une efficacité légèrement plus faible pour les fréquences élevées, du fait que les avalanches consécutives réduisent peu à peu la capacité de stockage des ouvrages. La raison du résultat de notre étude est probablement dû au fait que les sites à fréquence élevée sont habituellement touchés par de petites avalanches.

Il est également difficile de trouver une tendance systématique en ce qui concerne le coût des ouvrages. La Fig. 7 indique une efficacité plus faible pour les ouvrages de plus d'un million de NOK (USD 120.000). Ce résultat est probablement dû au fait que très peu de sites ont été évalués dans ce groupe, mais peut également indiquer que les ouvrages en terre ne devraient pas être utilisés pour protéger contre les grosses avalanches.

5.3 Evaluation des résultats

Nous avons trouvé certaines faiblesses systématiques dans les ouvrages en terre évalués, dont les plus importantes sont les suivantes:

Les ouvrages en terre sont plus efficaces pour arrêter les avalanches de débit dense, ce qui dans la pratique signifie les avalanches humides ou mouillées. Sur l'une des portions de route étudiées en

détails, 69 avalanches ont été répertoriées. Toutes étaient assez importantes pour couper une route non protégée. Elles ont été classées en trois groupes et les effets de la protection étaient les suivants:

Tableau 1. Efficacité des ouvrages en terre contre les différents types d'avalanche

Type d'avalanche	Nombre	Fermetures de route	Efficacité
Sèche	23	6	74
Mouillée	39	2	95
Fondante	7	3	57

Le tableau montre que les avalanches ayant une certaine cohésion sont plus efficacement stoppées par les ouvrages en terre, alors que les avalanches sans cohésion, avalanches de neige sèche ou de neige fondante, passent les digues et les remblais beaucoup plus facilement.

Les ouvrages en terre construits sur terrain montagneux ont en général une efficacité moindre. La raison en est que de profondes couches de neige couvrent l'ouvrage dont elles réduisent d'autant l'effet. Dans les montagnes, le pourcentage de neige sèche est aussi en général plus élevé.

Les ouvrages en terre de la première génération étaient en général trop petits pour arrêter plusieurs avalanches par an. 22 % des ouvrages évalués ont été reconstruits et 90 % d'entre eux ont une efficacité augmentée de plus de 20 %.

6. Remarques générales

Le gros avantage des galeries est qu'elles protègent les routes contre tous types d'avalanches et peuvent être utilisées sur tous types de terrain. De plus, les galeries offrent aux usagers de la route une protection totale lorsqu'ils se trouvent à l'intérieur de la galerie. Les galeries se sont également révélées particulièrement durables. Les ouvrages vieux de 40 ans sont encore en parfait état d'utilisation.

Il y a toutefois certains inconvénients liés à l'utilisation des galeries, dont le principal est le coût élevé, ce qui a eu trop souvent pour résultat que la galerie a été construite trop courte. Un autre inconvénient est une sécurité réduite aux entrées et à l'intérieur des galeries. Les conditions d'éclairage aux entrées sont quelquefois extrêmement difficiles, et au printemps, la route peut être verglacée à l'intérieur des tunnels. Dans certains cas, il a été difficile de trouver une bonne conception satisfaisant à la fois aux exigences routières et à la sécurité contre les avalanches.

Les coûts de maintenance enregistrés sont limités. Certaines galeries ont toutefois été endommagées par des chutes de blocs de pierre, ou par des avalanches plus puissantes que prévu. Malgré ces inconvénients, les galeries continueront à avoir une grande importance dans la protection des routes contre les avalanches. Toutefois, la manière actuelle de concevoir les galeries doit être révisée. On devrait éviter les galeries courtes, et accorder plus d'importance à l'adaptation des galeries au terrain.

Les données empiriques relatives aux ouvrages de terre indiquent qu'ils sont assez satisfaisants. Leur efficacité relativement élevée en regard des faibles coûts d'investissement parle en faveur de l'utilisation de ce genre d'ouvrages comme structures de protection dans l'avenir. De plus, les ouvrages en terre n'ont aucun effet négatif quant à la conduite et à la sécurité routière.

Jusqu'à maintenant, nous n'avons enregistré que peu de difficultés de maintenance en ce qui concerne les ouvrages en terre. Le risque principal d'endommagement est l'effet érosif des avalanches de neige fondante. L'efficacité des ouvrages en terre peut également être réduite en raison de l'accumulation de débris.

La présente évaluation sera poursuivie pendant au moins un an. Il sera accordé une importance particulière à l'analyse des données empiriques recueillies, qui couvrira également les autres mesures alternatives et se penchera plus en détail sur les galeries et les ouvrages en terre. Nous caressons donc l'espoir que cette évaluation permettra dans l'avenir d'améliorer nos mesures concrètes de protection des routes contre les avalanches.