



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'environnement,
des transports, de l'énergie et de la communication DETEC
Office fédéral des routes OFROU

En collaboration avec
CFF SA Infrastructure
Génie civil

Directive

Édition 2008 V2.03

Actions de chutes de pierres sur les galeries de protection

ASTRA 12 006

ASTRA OFROU USTRA UVIAS

Impressum

Auteur(s) / Groupe de travail

Donzel M. (OFROU, président jusqu'au 31.12.2004)
Schuler W. ((OFROU, président depuis le 01.01.2005)
Frey R.P. (bureau d'ingénieurs)
Jacquemoud J. (bureau d'ingénieurs)
Lang T.P. (CFF SA, infrastructure)
Montani S. (bureau d'ingénieurs)

Éditeurs

Office fédéral des routes OFROU
Division réseaux routiers
Standards, recherche, sécurité
3003 Berne

CFF SA Infrastructure
Génie civil
Schanzenstrasse 5
3000 Berne 65

Diffusion

OCL, Diffusion des publications, CH-3000 Berne, www.bbl.ch
No de commande: 806.317.f
La directive est téléchargeable gratuitement sur le site www.astra.admin.ch.

Prix (version imprimée)

CHF 30.-

© ASTRA 2008

Reproduction à usage non commercial autorisée avec indication de la source.

Avant-propos

Cette directive a été élaborée sur mandat de l'Office fédéral des routes (OFROU) et de la division Infrastructure des Chemins de Fers Fédéraux (CFF SA). Elle a comme but de compléter les normes sur les structures porteuses SIA 261 et suivantes [2003] dans le domaine des actions dues aux chutes de pierres.

La révision a été élaborée par un groupe de travail composé d'experts ainsi que de représentants de l'OFROU et des CFF. Dans ce document révisé, les résultats des plus récentes recherches ont été pris en compte.

La présente directive remplace l'édition initiale "Actions sur les galeries de protection contre les chutes de pierres" (1998). Elle revêt caractère obligatoire dès sa parution.

Office fédéral des routes

Dr. Rudolf Dieterle
Directeur

CFF SA, Infrastructure

Hansjörg Hess
Membre de la direction
Directeur infrastructure

Avant-propos de l'édition initiale 1998

Cette directive a été élaborée sur mandat de l'Office fédéral des routes (OFROU) et de la Direction des travaux CFF. Elle fait suite à la directive "Actions sur les galeries de protection contre les avalanches" [1994]. Elle a été établie pour définir les actions dues aux chutes de pierres, comme complément à la norme SIA 160 (1989), dont elle reprend les concepts.

Elle constitue aussi l'un des éléments de la documentation générale établie dans le même cadre, pour ce qui est du projet, de la construction et de l'entretien des galeries de protection contre les avalanches et contre les chutes de pierres.

Le groupe de travail qui l'a élaborée était composé de représentants des cantons, de l'OFROU et des CFF ainsi que d'experts. Plusieurs membres avaient déjà participé à l'élaboration de la norme SIA 160.

Dès sa parution, la présente directive revêt caractère obligatoire.

Office fédéral des routes
Le chef de la division technique

M. Pigois

Direction des travaux CFF
Le directeur

Dr. P. Winter

Table des matières

	Impressum	2
	Avant-propos	3
	Avant-propos de l'édition initiale 1998	4
1	Introduction	7
1.1	Objectif de la directive	7
1.2	Champ d'application	7
1.3	Entrée en vigueur et modifications	7
2	Définitions	8
2.1	Termes	8
2.1.1	Galerie de protection contre les chutes de pierres	8
2.1.2	Chutes de pierres	8
2.1.3	Zone de chutes de pierres	8
2.1.4	Couche de couverture	8
2.1.5	Dépôt de blocs	8
2.1.6	Action de chute de pierres	8
2.1.7	Section de référence	8
2.1.8	Utilisations accessoires	9
2.2	Notations, unités de mesure	10
3	Principes	11
4	Indications pour l'élaboration des projets	12
5	Situation de risque	13
5.1	Généralités	13
5.2	Situation de projet « chute de pierres »	13
6	Détermination de l'action	15
7	Vérification de la sécurité structurale	18
8	Indications pour le déroulement des projets	19
8.1	Maître de l'ouvrage	19
8.2	Spécialiste	19
8.3	Auteur du projet	19
	Bibliographie	20
	Liste des modifications	21

1 Introduction

1.1 Objectif de la directive

La présente directive complète la norme SIA 261 et 261/1 dans le domaine des actions de chutes de pierres. Elle fixe la procédure pour déterminer ces actions et fournit des bases de dimensionnement uniformes pour l'établissement des projets.

En outre, elle fixe la répartition des tâches entre les intervenants au projet.

Les éboulements, les coulées de boue ainsi que les avalanches ne sont pas traités dans cette directive.

1.2 Champ d'application

La présente directive a force obligatoire pour déterminer les actions de chutes de pierres sur les galeries aménagées pour protéger :

- les lignes ferroviaires des CFF ;
- les galeries de protection des routes cofinancées par la Confédération.

Cette directive est valable pour la planification et la réalisation des constructions nouvelles. Lors de la planification de mesures de conservation, les principes de cette directive sont applicables par analogie.

1.3 Entrée en vigueur et modifications

La présente directive « *Actions de chutes de pierres sur les galeries de protection (édition 2008)* » entre en vigueur le 01.01.2008. La « Liste des modifications » se trouve à la page 21.

2 Définitions

2.1 Termes

2.1.1 Galerie de protection contre les chutes de pierres

Il s'agit d'un ouvrage conçu pour protéger la route ou la voie ferrée contre les chutes de pierres. Les pierres, blocs ou éboulements sont soit déviés par-dessus la galerie, soit amortis par la toiture de la galerie sans porter atteinte au trafic.

2.1.2 Chutes de pierres

On entend par « chutes de pierres » tant les chutes de pierres isolées que les chutes de blocs entiers. Les pierres isolées ($\varnothing < 50$ cm) et les blocs ($\varnothing > 50$ cm) tombent en chute libre, roulent ou rebondissent sur le terrain.

2.1.3 Zone de chutes de pierres

Région ou domaine menacé par des chutes de pierres.

2.1.4 Couche de couverture

Matériau de remblai réparti sur la galerie et constituant un élément de protection de la toiture en amortissant les chocs lors de chutes de pierres.

2.1.5 Dépôt de blocs

Amoncellement de blocs et d'éboulis sur la galerie, provenant de l'accumulation des matériaux tombés antérieurement et arrêtés sur la toiture.

2.1.6 Action de chute de pierres

En conformité avec les normes SIA 261 et 261/1, l'action de chute de pierres est considérée comme action accidentelle.

Cette action décrit un événement rare, en général de courte durée et d'un effet important.

2.1.7 Section de référence

Surface de la couche de couverture de la galerie. C'est à ce niveau que sont déterminées les données initiales.

Les données initiales – la masse m , la vitesse v et l'angle d'impact α , nécessaires au calcul de l'action de chutes de pierres, sont illustrées dans la figure 2.2.

2.1.8 Utilisations accessoires

Des utilisations accessoires du toit de la galerie sont, entre autre, les dépôts et les charges de trafic. Elles sont à définir avec le maître de l'ouvrage et à fixer dans la convention d'utilisation

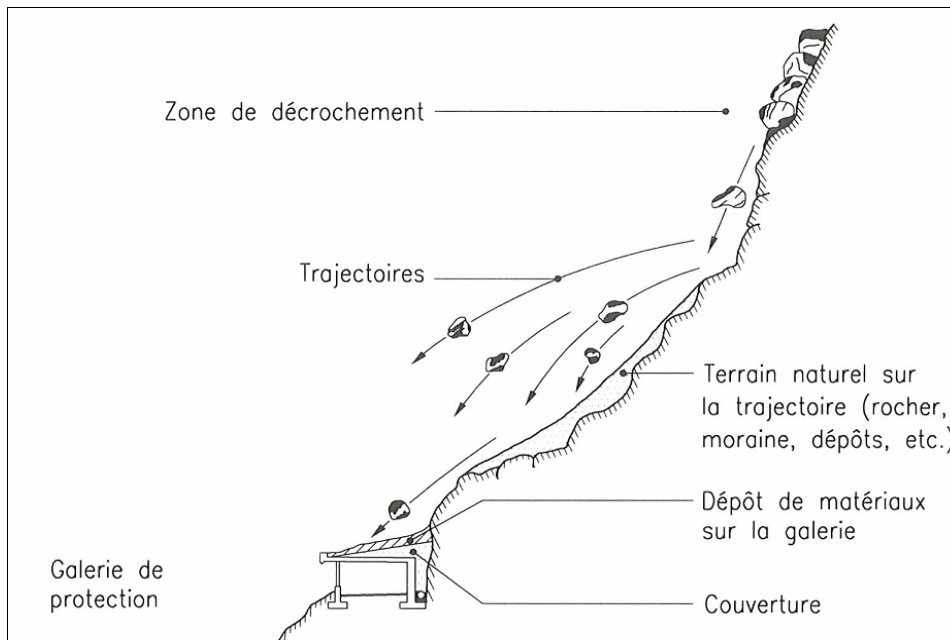


Fig. 2.1 Définition des termes généraux.

2.2 Notations, unités de mesure

a	[m]	épaisseur du dépôt de pierres et de blocs
t	[m]	profondeur de pénétration des blocs
d	[m]	diamètre de la surface d'application de la charge q répartie sur la dalle
e	[m]	épaisseur de la couche de couverture au point d'impact
g	[m/s ²]	accélération terrestre (10.0 m/s ²)
m	[t]	masse du bloc
r	[m]	rayon de la sphère équivalente au bloc, de même masse et de même volume
s	[m]	épaisseur de la couche de neige naturelle ou d'un dépôt d'avalanches
v	[m/s]	vitesse d'impact
x		axe horizontal
z		axe vertical
α	[°]	angle sur l'horizontale de la trajectoire au point d'impact
β	[°]	pente de la couverture
δ	[°]	pente de la dalle
\varnothing_{max}	[m]	diamètre maximum du matériau de couverture
F	[kN]	force au point d'impact
φ	[°]	angle de frottement interne du matériau de couverture
M_E	[kN/m ²]	module statique M_E - module de compressibilité du matériau de couverture

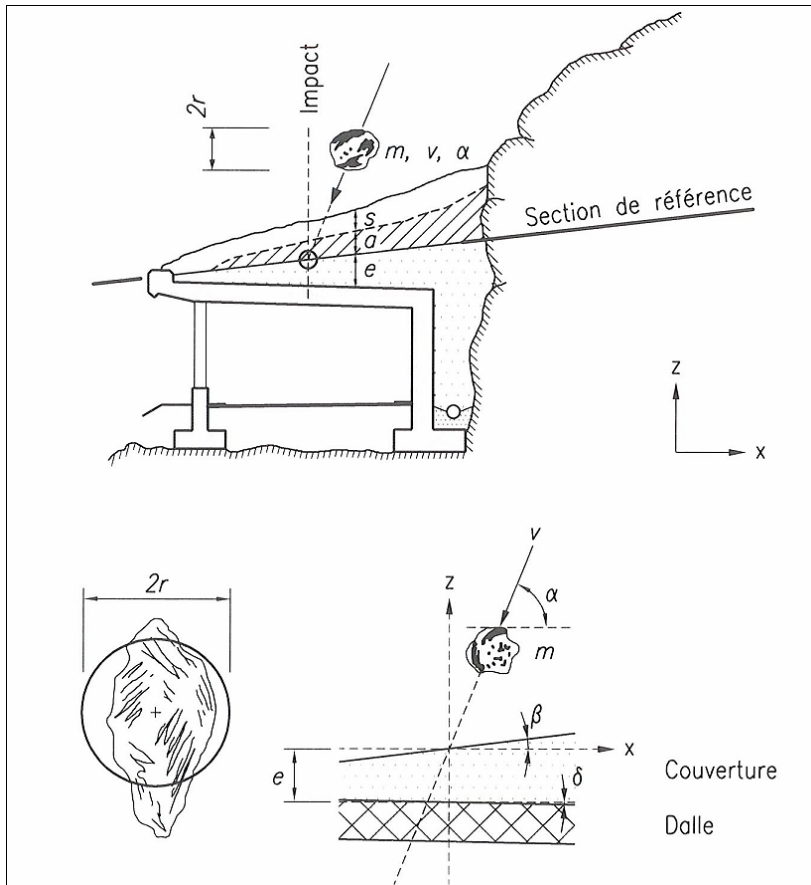


Fig. 2.2 Notations.

3 Principes

3.1 Les données initiales et les trajectoires de chutes dans la section de référence (surface de la couche de couverture) sont à établir pour chaque ouvrage ou tronçon d'ouvrage significatif.

3.2 La chute de pierres est une action due à un choc et résultant d'un danger naturel. Elle est prise en compte comme une action accidentelle (SIA 261/1, ch. 7.1). La valeur de dimensionnement de l'effet du choc est à déterminer selon la norme SIA 260.

La masse et la vitesse d'impact du bloc déterminant pour le calcul ainsi que l'angle par rapport à l'horizontale de la trajectoire au point d'impact sont à déterminer comme valeurs caractéristiques m_k , v_k et α_k .

3.3 La détermination de l'objectif de protection, de l'utilisation et du scénario décisif incombe au maître de l'ouvrage. Le cas échéant, il les adapte à la conception de la galerie établie par l'auteur du projet et aux moyens techniques et économiques disponibles. Le maître d'ouvrage est responsable de l'acquisition des données nécessaires.

Le géologue ainsi que les autres spécialistes conseillent le maître de l'ouvrage en ce qui concerne les situations de risque dues aux chutes de pierres dans la zone de la galerie et déterminent les scénarios avec les données initiales correspondantes.

3.4 L'auteur du projet détermine les actions sur la base des données initiales et des caractéristiques géométriques de la galerie.

4 Indications pour l'élaboration des projets

- 4.1 Le choix de la position de la galerie et de la pente de la couverture doivent viser un effet de protection optimal contre les chutes de pierres.

On analysera avec attention les effets de la galerie sur les zones d'habitations et les voies de communications situées en aval.

Des indications pour la conception de galeries et d'autres systèmes de protection se trouvent dans la documentation [1].

- 4.2 Selon les conditions locales, des accumulations importantes de blocs tombés ou éboulés sont possibles, et il y a lieu d'en tenir compte dans le projet. L'évacuation de ces dépôts doit se faire en conformité avec la convention d'utilisation.

- 4.3 On évitera de disposer des éléments porteurs en exposition directe aux chutes de pierres.

- 4.4 L'effet de la couverture est d'amortir les chocs et de diminuer les sollicitations sur la structure. Il est ainsi possible de prévenir les perforations et les éclatements en face inférieure de la dalle. L'épaisseur de couverture nécessaire dépend de la masse et de la vitesse des blocs, ainsi que du type de matériau de remblai utilisé. Le type de matériau et l'épaisseur de la couverture sont à définir en accord avec le maître de l'ouvrage dans une phase précoce du projet (conception), et à reporter dans la base du projet.

Il faut tenir compte de l'évolution dans le temps des caractéristiques du matériau de remblai (compactage, consolidation). La préférence est à donner à un matériau de faible cohésion.

- 4.5 Les ouvrages monolithiques sont constructivement préférables. De même, il faut rechercher un comportement ductile de la structure à l'état de rupture. En particulier, la disposition d'armature d'effort tranchant augmente la ductilité de la dalle.

- 4.6 Lors de la réalisation des galeries de protection contre les chutes de pierres, les mesures de sécurité nécessaires durant l'exécution (chantier, zone des files d'attente du trafic) doivent être examinées avec l'attention nécessaire.

- 4.7 Le projet tiendra également compte du fait que les actions de chutes de pierres peuvent provoquer des réactions négatives sur les appuis et une inversion des moments sur appuis et en travée. Leur intensité se situe dans un ordre de grandeur de 50% des efforts intérieurs et des réactions calculées avec les forces de remplacement données par cette directive.

5 Situation de risque

5.1 Généralités

Les chutes de pierres se présentent soit sous forme de blocs isolés, soit sous celle d'une pluie de pierres plus petites accompagnées de quelques plus gros blocs (fig. 5.1). L'action dynamique du bloc déterminant est alors représentative de l'effet des chutes de pierres.

Les pierres et blocs plus petits sont à prendre en compte comme une action statique indépendante et sont à traiter comme une charge répartie, dans l'hypothèse admise que tous les impacts ne se produisent pas simultanément.

L'ampleur, la forme et l'étendue des éboulis ainsi accumulés sont à définir avec le maître d'ouvrage et à consigner dans la convention d'utilisation en même temps que les dimensions et la vitesse d'impact du bloc déterminant. Il en va de même pour les dépôts de blocs, de neige, ou les autres utilisations éventuelles du toit de la galerie.

5.2 Situation de projet « chute de pierres »

Ce paragraphe a pour but d'explicitier la situation de projet accidentelle « chute de pierres » ainsi que les paramètres à prendre en compte.

L'action de chutes de pierres est déterminée par la masse m_k et la vitesse d'impact v_k du bloc tombant sur la galerie. Elle peut être réduite à une composante verticale ($m_k, v_{z,k}$) et une composante horizontale ($m_k, v_{x,k}$). L'action peut aussi être inclinée par rapport à l'axe longitudinal de la galerie. Elle est à prendre en compte dans sa position défavorable.

Les facteurs de réduction ψ_2 selon SIA 260, art. 4.4.3.5 concernant les dépôts de pierres et de neige sont à prendre égaux à zéro pour les galeries.

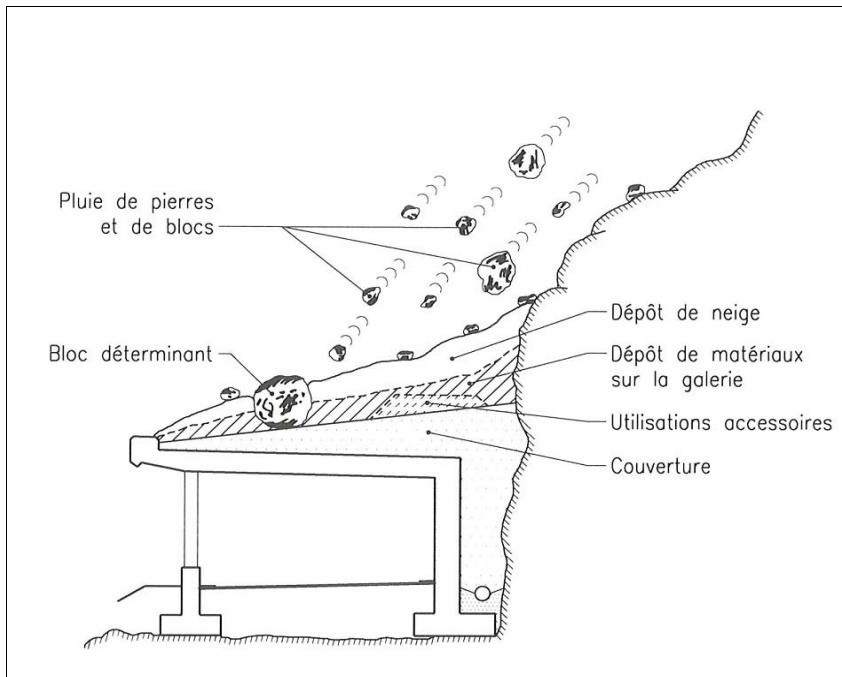


Fig. 5.1 Actions effectives.

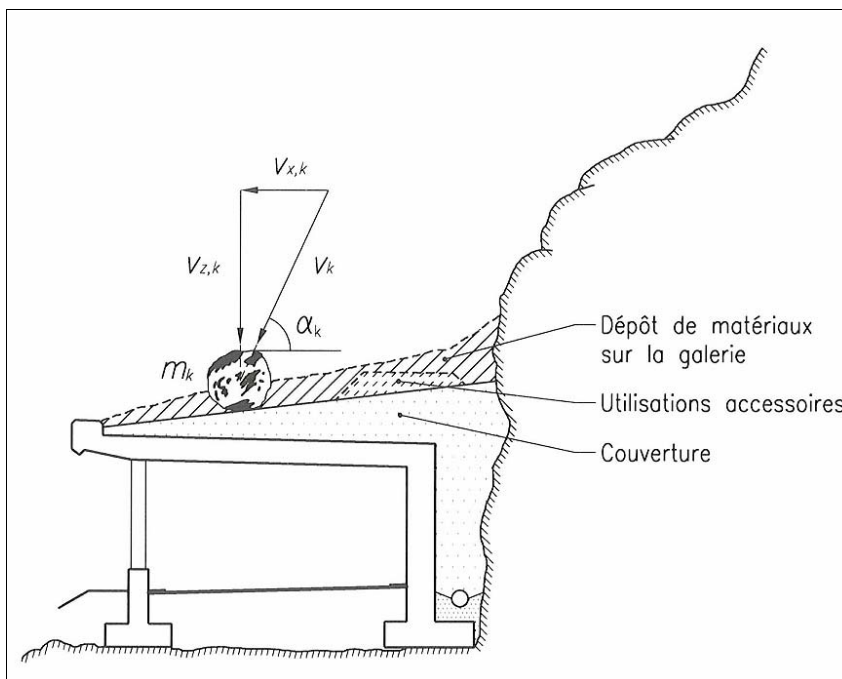


Fig. 5.2 Situation de projet accidentelle, chute d'un bloc isolé.

6 Détermination de l'action

- 6.1 L'action dynamique F_k d'un impact de bloc est représentée par une force statique de remplacement A_d , pondérée par un coefficient de construction C .

L'action dynamique F_k dépend des caractéristiques géométriques et géotechniques du matériau de couverture sous sollicitation dynamique, ainsi que de la vitesse d'impact, de la masse et de la forme du bloc ($m_k, v_k, e, M_{E,k}, \varphi_k$) [2, 3].

- 6.2 L'action dynamique F_k est assimilée à l'action d'une sphère idéale de rayon r et de masse m_k égale au bloc déterminant, retenu dans la convention d'utilisation. L'angle de diffusion des forces dans la couche de couverture peut être admis à 30° (fig. 6.3). La charge locale q_d , à utiliser pour le dimensionnement est à admettre uniformément répartie sur la surface de diffusion.

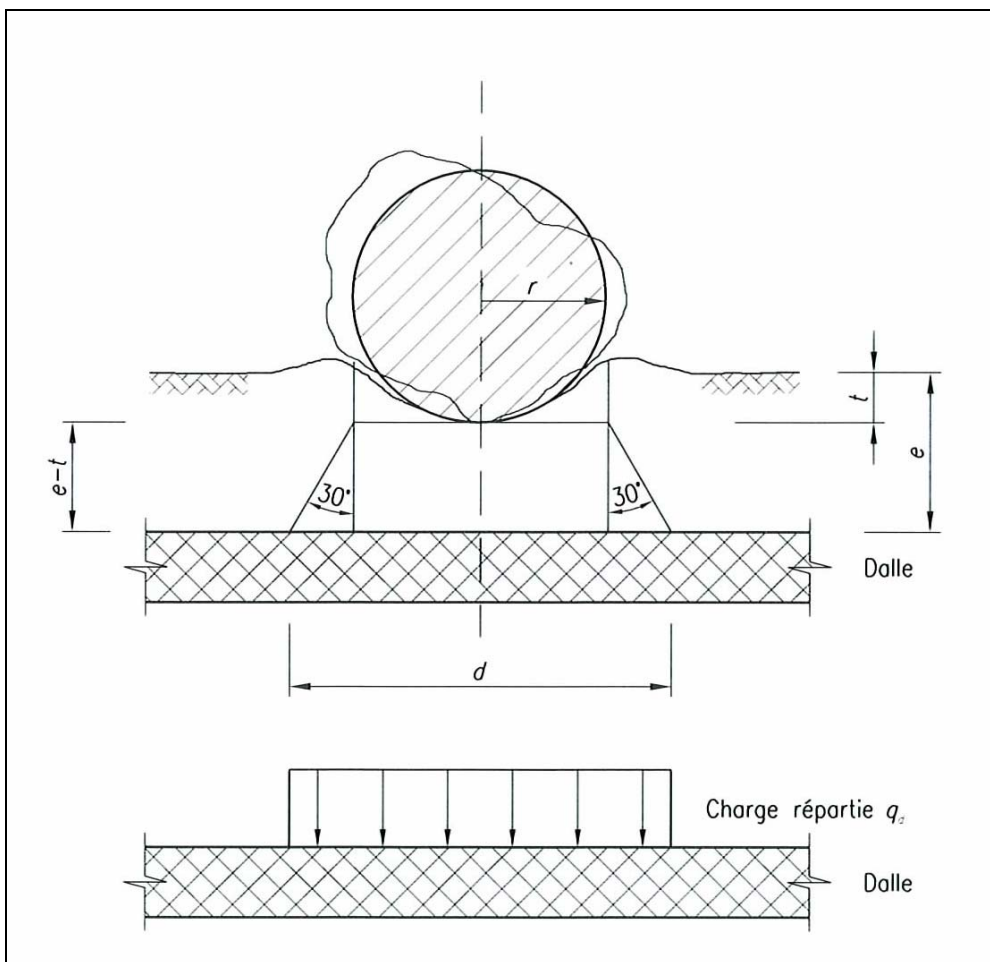


Fig. 6.3 Diffusion de la force de remplacement A_d .

6.3 L'impact oblique (fig. 6.4) est traité de la façon approchée suivante :

- La composante verticale de la force d'impact $F_{z,k}$ est déterminée selon le §6.7 avec la composante verticale de la vitesse d'impact.
- La composante horizontale de la force d'impact $F_{x,k}$ est évaluée avec la relation $F_{x,k} = F_{z,k} \cdot \cot \alpha_k$, mais elle est limitée en valeur supérieure par la résistance au cisaillement du matériau de couverture.

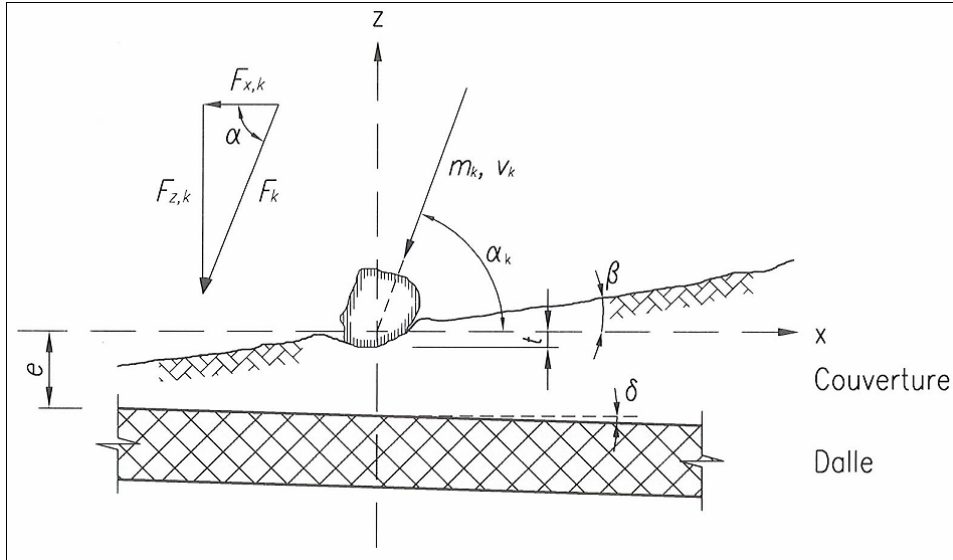


Fig. 6.4 Impact oblique.

6.4 L'épaisseur minimale de la couche de couverture doit respecter la plus défavorable des conditions suivantes :

$$e \geq 0,5 \text{ m}$$

$$e \geq t + 3 \cdot \varnothing_{max}$$

$$e \geq 2 \cdot t$$

avec :

t [m] profondeur de pénétration selon art. 6.7

\varnothing_{max} [m] diamètre max. du matériau de couverture

6.5 Matériaux de couverture et valeurs du module de compressibilité M_E :

Les valeurs du module $M_{E,k}$ à utiliser sont les valeurs statiques selon la norme SN 640317b (dimensionnement pour terrain et infrastructure) et SN 670317b (essai de plaque E_V et M_E). Elles devraient être déterminées dans la zone de prélèvement de ces matériaux, avant d'effectuer le dimensionnement de la galerie. L'influence du compactage naturel au cours du temps est à prendre en compte lorsque la mesure du module est faite sur le matériau remanié. Sa valeur peut augmenter avec le temps, et influencer sensiblement la grandeur de la force de remplacement correspondante.

6.6 Les autres actions sont à prendre en compte conformément aux normes SIA 260 et 261 et à consigner dans la convention d'utilisation.

6.7 La force F_k et la profondeur de pénétration t sont estimées comme suit :

$$F_k = 2,8 \cdot e^{-0,5} \cdot r^{0,7} \cdot M_{E,k}^{0,4} \cdot \tan \varphi_k \cdot \left(\frac{m_k \cdot v_k^2}{2} \right)^{0,6}$$

$$t = \left(\frac{m_k \cdot v_k^2}{F_k} \right)$$

avec :

t	[m]	profondeur de pénétration
F_k	[kN]	valeur caractéristique de la force au point d'impact
m_k	[t]	valeur caractéristique de la masse du bloc
r	[m]	rayon de la sphère idéale équivalente
v_k	[m/s]	valeur caractéristique de la vitesse d'impact
e	[m]	épaisseur de la couche de couverture
$M_{E,k}$	[kN/m ²]	valeur caractéristique du module statique M_E de compressibilité du matériau de couverture
φ_k	[°]	valeur caractéristique de l'angle de frottement interne du matériau de couverture

7 Vérification de la sécurité structurale

La valeur de dimensionnement de la force statique de remplacement A_d résulte du produit de l'action dynamique F_k avec le coefficient de construction C :

$$A_d = C \cdot F_k$$

Les valeurs du coefficient de construction C dépendent du mode de rupture et sont donnés dans le tableau 7.1.

Fig. 7.1 Valeurs du coefficient de construction C

Mode de rupture	Coefficient de construction C
<i>Ductile</i> (rupture en flexion de dalles ou poutres, rupture d'éléments armés à l'effort tranchant ou au poinçonnement)	0,4
<i>Fragile</i> (rupture d'éléments non armés à l'effort tranchant ou au poinçonnement)	1,2

Du côté des résistances on utilisera les valeurs usuelles des normes pour les dimensionnements statiques. La majoration des valeurs de résistances liées au caractère dynamique des sollicitations est déjà incluse dans le coefficient de construction C . Les art. 4.2.1.4 et 4.2.2.3 de la norme SIA 262 ne sont donc pas à appliquer.

Pour le mode de rupture ductile, la valeur C est basée sur un degré de plastification de 10,0. Pour le mode de rupture fragile, un degré de plastification de 1,0 a été admis.

Pour les galeries qui servent de protection aussi bien contre les chutes de pierres que contre les avalanches, ces deux actions peuvent être considérées comme indépendantes.

8 Indications pour le déroulement des projets

8.1 Maître de l'ouvrage

Le maître de l'ouvrage fixe l'objectif de protection à atteindre.

8.2 Spécialiste

Le spécialiste en chutes de pierres détermine la situation de risque générale du fait de chutes de pierres dans la zone de la galerie et quantifie les données initiales :

m_k, v_k, α_k .

Il doit pour ce faire disposer des documents suivants :

- situation à l'échelle 1:10'000 ou 1:5'000 ;
- géométrie de la route, de la voie ferrée, de la galerie et du terrain ;
- cadastre et protocoles des chutes de pierres observées ;
- levés géologiques de la falaise (stratifications, discontinuités).

8.3 Auteur du projet

L'auteur du projet :

- calcule les actions de chutes de pierres sur la galerie sur la base des données du spécialiste ;
- complète les situations de risque avec les autres actions ;
- définit la géométrie finale de la galerie et du terrain sur celle-ci ;
- dimensionne la galerie à la sécurité structurale et à l'aptitude au service.

Bibliographie

-
- [1] OFROU/FSS (1998), « **Projet, construction et entretien des galeries de protection contre les chutes de pierres et les avalanches** », OFCL, Publications fédérales, 3000 Berne, Art.-Nr. 308.324.f, www.bbl.admin.ch, download : www.astra.admin.ch.
-
- [2] Montani S., Descoedres F.(1996), « **Étude expérimentale de la chute de blocs impactant une dalle de béton armé recouverte par des matériaux amortissants** », EPFL, mandat 98/92 publ. OFT n° 524.
-
- [3] Montani S.(1998), « **Sollicitation dynamique de la couverture des galeries de protection lors de chutes de blocs** », thèse EPFL, n° 1899.
-

Liste des modifications

Édition	Version	Date	Modifications
1998	1.00	1998	Entrée en vigueur de l'édition 1998.
2008	2.00	01.01.2008	Modifications à la norme SIA 261.
2008	2.01	30.01.2008	Modifications formelles.
2008	2.02	16.07.2008	Art. 6.4 : correction de la deuxième équation $e \geq t + 3 \cdot \varnothing_{max}$.
2008	2.03	03.09.2008	Art. 6.5: Adaptation aux normes SN 640317b et SN 670317b.

