

Bases de l'évaluation de la qualité des filets pare-pierres et de leurs fondations

Guide pratique



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'environnement OFEV

Bases de l'évaluation de la qualité des filets pare-pierres et de leurs fondations

Guide pratique

Impressum

Éditeur

Office fédéral de l'environnement (OFEV)

L'OFEV est un office du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC).

Auteurs

Reto Baumann

Werner Gerber

Groupe d'accompagnement

Commission fédérale d'experts en avalanches et en chutes de pierres – CEAC

Référence bibliographique

Baumann R. 2018: Bases de l'évaluation de la qualité des filets pare-pierres et de leurs fondations – Guide pratique. Office fédéral de l'environnement, Berne. Connaissance de l'environnement n° 1805: 42 p.

Traduction

Service linguistique de l'OFEV

Mise en page

Cavelti AG, medien. digital und gedruckt, Gossau

Photo de couverture

Des experts évaluent un filet pare-pierres sur une installation de test à Walenstadt.

Photo: Reto Baumann

Téléchargement au format PDF

www.bafu.admin.ch/uw-1805-f

(il n'existe pas de version imprimée)

Cette publication est également disponible en allemand et en italien. La langue originale est l'allemand.

© OFEV 2018

Table des matières

Abstracts	5	A3.3 Manuel de maintenance	21
Avant-propos	6	Annexe A4 : Calcul des forces déterminantes subies par les câbles	22
1 Introduction	7	A4.1 Configuration des câbles porteurs lors des essais d'homologation	22
1.1 But et contenu	7	A4.2 Forces subies par les câbles porteurs inférieurs	23
1.2 Destinataires	7	A4.3 Forces subies par les câbles porteurs supérieurs	23
1.3 Classification	7	A4.4 Forces subies par les câbles filants	24
2 La procédure d'évaluation européenne	8	A4.5 Forces subies par les câbles de retenue	24
3 Directive sur l'homologation de filets de protection contre les chutes de pierres	9	A4.6 Charges statiques de remplacement	25
4 Mise en œuvre de filets pare-pierres dans le cadre de projets	10	A4.7 Exemple de calcul des forces déterminantes subies par les câbles de retenue	25
4.1 Généralités	10	Annexe A5 : Contenu d'un rapport d'évaluation	28
4.2 Condition pour obtenir une subvention	11	Annexe B1 : Actions exercées sur les ancrages et les fondations	29
4.3 Comparaison entre les essais obliques et verticaux	11	B1.1 Configuration des filets de protection sur le terrain	29
4.4 Exigences posées aux filets pare-pierres	12	B1.2 Ancrage des câbles porteurs inférieurs	29
4.4.1 Documents requis	12	B1.3 Ancrage des câbles porteurs supérieurs	29
4.4.2 Exigences techniques prioritaires	12	B1.4 Ancrage des câbles de retenue	30
4.4.3 Preuve du respect des exigences techniques prioritaires	13	B1.5 Actions sur les fondations	31
4.4.4 Autres exigences techniques	13	B1.6 Influence de l'angle de déviation	33
4.4.5 Exigences posées à la documentation	13	Annexe B2 : Dimensionnement des ancrages et des fondations	34
4.4.6 Essai de montage	14	B2.1 Généralités	34
4.5 Vérification du respect des exigences et des critères de qualification	14	B2.2 Valeurs de calcul	34
4.6 Exigences posées aux ancrages et aux fondations	14	B2.3 Vérifications	36
4.6.1 Actions exercées sur les ancrages et les fondations	14	Annexe B3 : Essais sur des tirants-tests	37
4.6.2 Dimensionnement des ancrages et des fondations	15	B3.1 Essais d'arrachement	37
4.6.3 Protection des ancrages et des fondations contre la corrosion	15	B3.2 Tests de traction	37
4.6.4 Utilisation de mortier d'ancrage	16	Annexe B4 : Protection contre la corrosion	38
Annexe A1 : Critères prioritaires d'évaluation des performances des filets	17	B4.1 Exemple de fondation avec une protection anticorrosion de degré 2	38
Annexe A2 : Critères d'évaluation des filets	18	Annexe C : Glossaire	39
Annexe A3 : Critères d'évaluation de la documentation	19	Annexe D : Abréviations	41
A3.1 Documentation technique	19		
A3.2 Instructions de montage	20		

Abstracts

This practical guide contains information for the quality assessment of the rockfall protection nets available on the market and their foundations. It provides support for actors involved in the procurement and use of rockfall nets, in particular commissioning clients.

Keywords:

Rockfall protection, Rockfall protection nets, Quality assessment, Dimensioning, Practical guide

Ce guide pratique expose les bases nécessaires pour évaluer la qualité des filets de protection contre les chutes de pierres et de leurs fondations tels qu'ils sont proposés sur le marché. Il assiste les personnes impliquées dans l'acquisition et l'utilisation de filets pare-pierres, en particulier les maîtres d'ouvrages.

Mots-clés :

Protection contre les chutes de pierres, Filets pare-pierres, Évaluation de la qualité, Dimensionnement, Guide pratique

Die Praxisanleitung enthält die Grundlagen, um die Qualität der auf dem Markt angebotenen Steinschlagschutznetze und deren Foundation beurteilen zu können. Sie unterstützt die an der Beschaffung und Verwendung von Steinschlagschutznetzen Beteiligten, insbesondere die Bauherren.

Stichwörter:

Steinschlagschutz, Steinschlagschutznetze, Qualitätsbeurteilung, Bemessung, Praxisanleitung

La presente guida pratica espone le basi per la valutazione qualitativa delle reti paramassi disponibili sul mercato e delle relative fondazioni. La pubblicazione è intesa come supporto per le parti interessate all'acquisto e all'utilizzo di reti paramassi, segnatamente per i committenti.

Parole chiave:

Protezione contro la caduta di sassi, Reti paramassi, Valutazione qualitativa, Dimensionamento, Guida pratica

Avant-propos

Différents fabricants proposent de nombreux filets de protection contre les chutes de pierres sur le marché européen. Ces ouvrages ont ceci de particulier que leur qualité et leur aptitude ne peuvent être prouvées que lorsqu'ils sont effectivement touchés par un événement. S'ils cèdent, il est trop tard pour réagir ; l'événement en cause est susceptible d'infliger les dommages qui auraient justement dû être évités. Il est donc important de vérifier préalablement leur qualité et les conditions de leur mise en œuvre dans le terrain. Une partie des critères d'évaluation sont examinés au cours de la procédure d'évaluation européenne, également contraignante pour la Suisse. Les performances d'un produit sont répertoriées puis documentées dans le cadre d'une évaluation technique européenne, ETE (European Technical Assessment, ETA). Toutefois, cette documentation ne dit rien au sujet de la mise en œuvre des filets dans le terrain. Le présent guide fournit des informations et des critères complémentaires portant sur la manière d'évaluer cet aspect.

L'application de critères de qualification et d'adjudication lors de l'acquisition de filets pare-pierres permet de soumettre leur qualité à certaines exigences. Mais cela requiert des connaissances spécialisées. Le présent guide a pour but d'assister les maîtres d'ouvrages afin qu'ils puissent acheter le produit qui leur convient le mieux. Les bases décrites ici fournissent également des informations susceptibles d'aider les entreprises qui montent des filets de protection et les ingénieurs qui les planifient ainsi que les fabricants et les fournisseurs de tels ouvrages à assumer les tâches qui leur incombent (tableau 1).

Nous savons qu'il s'agit là d'une problématique technique compliquée. Il y a lieu d'instaurer un répertoire pour faciliter encore la mise en œuvre de filets de protection contre les chutes de pierres. Ce registre contiendra les données importantes concernant les produits déjà testés et évalués sous une forme accessible au public.

Paul Steffen
Sous-directeur
Office fédéral de l'environnement (OFEV)

1 Introduction

1.1 But et contenu

Le présent guide pratique vise d'abord à fournir aux acheteurs et aux utilisateurs de filets de protection contre les chutes de pierres une aide pour déterminer si les produits proposés sur le marché répondent à leurs besoins et à leurs exigences.

Ce document comprend essentiellement des informations actuelles au sujet de l'aptitude des filets à assurer l'usage souhaité dans des cas concrets. Pour qu'un type de filet donné puisse être recommandé, il faut notamment qu'il soit apte à l'usage prévu et satisfasse aux normes et directives en vigueur. Ces conditions dépassent parfois les exigences régissant la mise sur le marché et l'utilisation de filets pare-pierres selon le document d'évaluation européen (DEE)¹ actuellement en vigueur, car l'aptitude à l'usage des filets prévus dans un projet concret joue un rôle crucial lorsqu'il s'agit d'examiner si ce projet peut être subventionné. Il est donc possible qu'un filet pare-pierres soit admis en vertu du DEE mais qu'il ne doive pas être utilisé dans un projet faute d'adaptation au terrain. Ce point sera examiné de cas en cas. Un exemple est le manque de conditions à satisfaire pour qu'un filet soit correctement ancré.

1.2 Destinataires

Ce guide pratique est surtout destiné aux concepteurs et aux planificateurs de mesures de protection recourant à des filets pare-pierres ainsi qu'aux acheteurs et aux utilisateurs de ces filets. Il sert aussi indirectement à attirer l'attention des fabricants, des importateurs et des monteurs de filets de protection sur les exigences supplémentaires importantes à respecter lors de leur utilisation. En cela, ce document favorise également la transparence et la communication des connaissances les plus récentes.

1.3 Classification

La Communauté européenne a introduit en 2008 une nouvelle procédure d'agrément et de vérification de la conformité des filets pare-pierres (basée sur le guide ETAG 027). La Confédération suisse et la Communauté européenne avaient conclu le 21 juin 1999 un accord portant sur la reconnaissance mutuelle en matière d'évaluation de la conformité (ARM)², c'est pourquoi le guide ETAG 027 était entré en vigueur en Suisse également. Comme cet accord n'autorise aucune procédure d'évaluation particulière à un pays qui divergerait du guide ETAG 027, la Suisse est tenue d'abolir la directive sur l'homologation de filets de protection contre les chutes de pierres appliquée depuis 2001.

En se référant au règlement (UE) n° 305/2011 sur les produits de construction, l'Organisation européenne pour l'évaluation technique (EOTA) s'attache à assurer en 2016–2018 le passage du guide ETAG 027 à un document d'évaluation européen, DEE (European Assessment Document, EAD) DP 14-34-0059-01.6. Suite à cette modification, une ETA – jusqu'ici European Technical Approval (agrément technique européen, ATE) et désormais European Technical Assessment (évaluation technique européenne, ETE) – n'examinera plus l'utilité d'un produit, mais ses performances selon des critères choisis. Elle servira ensuite de base pour la déclaration des performances du produit et pour l'attribution du label CE (tous deux par le fabricant).

¹ Guide d'agrément technique européen de kits de protection contre les chutes de blocs rocheux (février 2008). C'est la version anglaise qui fait actuellement foi : Guideline for european technical approval of falling rock protection kits (edition september 2012, amended april 2013). Publié à l'adresse www.empa.ch/bewertungsstelle (voir aussi sous 1,3).

² Accord entre la Confédération suisse et la Communauté européenne relatif à la reconnaissance mutuelle en matière d'évaluation de la conformité, conclu le 21 juin 1999 (RS 0.946.526.81).

2 La procédure d'évaluation européenne

En vertu de l'art. 31, al. 4, let. d, du règlement européen sur les produits de construction³, l'EOTA élabore des documents propres à servir de base à l'évaluation européenne de produits ou de familles de produits. Les références des documents d'évaluation européens (DEE) finaux sont publiées dans le Journal officiel de l'Union européenne. En Suisse, le document ETAG 027 (DEE DP 14-34-0059-01.6 dès mi-2018) est publié sur le site Internet de Empa⁴. La procédure d'évaluation européenne est destinée à garantir que seuls des filets pare-pierres de haute qualité soient commercialisés sur le territoire de l'Union européenne.

Le DEE porte principalement sur l'évaluation de l'aptitude à l'usage et sur l'évaluation et l'attestation de la conformité et du marquage CE des kits de protection contre les chutes de blocs rocheux. Des essais doivent être réalisés sur le terrain pour passer l'évaluation technique européenne (ETE). Le DEE expose essentiellement les particularités techniques de l'exécution de ces essais. Il décrit notamment les différents éléments des filets de protection et la nomenclature associée.

D'après le DEE, l'ETE pour les filets pare-pierres est délivrée par des organismes reconnus. Ce document désigne les organismes d'essais, d'évaluation et d'inspection compétents (organismes d'évaluation de la conformité, OEC) et précise le déroulement des essais. Il décrit également les tâches que le fabricant doit accomplir pour garantir la qualité de ses produits (contrôle de la qualité en usine, CQU)⁵.

³ Règlement (UE) n° 305/2011 sur les produits de construction, qui abroge la directive 89/106/CEE sur les produits de construction. Il est en vigueur depuis le 4 avril 2011.

⁴ www.empa.ch/bewertungsstelle (guide en anglais)

⁵ Point 3.2.1 ETAG 027 Tâches du fabricant (art. 3.2 DEE DP 14-34-0059-01.6)

3 Directive sur l'homologation de filets de protection contre les chutes de pierres

La directive sur l'homologation de filets de protection contre les chutes de pierres (OFEFP 2001)⁶ et son complément (OFEV 2006)⁷ étaient en vigueur jusqu'au 31 janvier 2018. L'OFEV ne subventionnait que les projets mettant en œuvre des filets qui avaient réussi l'examen requis par cette directive. Depuis 2001, 32 ouvrages couvrant une palette d'absorption énergétique de 250 à 5000 kJ (classes d'énergie 2 à 9) ont été soumis à une procédure d'homologation. Parmi les filets testés, 28 ont satisfait aux exigences et obtenu un certificat délivré par l'OFEV. Ces certificats sont accessibles sur Internet à l'adresse suivante : www.bafu.admin.ch/homologation.

Pour satisfaire à l'accord de reconnaissance mutuelle passé avec la Communauté européenne, l'OFEV a aboli la directive suisse et en a informé les services cantonaux en charge des dangers naturels par lettre du 31 janvier 2018.

6 OFEFP 2001 : Directive sur l'homologation de filets de protection contre les chutes de pierres. L'environnement pratique. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP), Institut fédéral de recherches WSL, Berne, 39 pages (www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/dangers-naturels/publications-etudes/publications/directive-sur-l-homologation-de-filets-de-protection-contre-les-chutes-de-pierres.html)

7 OFEV 2006 : Directive sur l'homologation de filets de protection contre les chutes de pierres – Complément 2006. Office fédéral de l'environnement, Berne, 4 pages (www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/dangers-naturels/publications-etudes/publications/directive-sur-l-homologation-de-filets-de-protection-contre-les-chutes-de-pierres.html)

4 Mise en œuvre de filets pare-pierres dans le cadre de projets

4.1 Généralités

La qualité et le fonctionnement d'un filet de protection contre les chutes de pierres installé sur le terrain dépendent non seulement de la qualité du filet lui-même, mais également de nombreux autres facteurs. Il faut tenir compte des volets suivants pour qu'un filet pare-pierres puisse fonctionner durablement de la manière prévue :

- dimensionnement et implantation du filet sur le terrain ;
- dimensionnement des ancrages et des fondations ;
- montage du filet ;
- qualité des ancrages et des fondations ;
- contrôle, entretien et remise en état des divers éléments.

Il incombe à différents protagonistes de maintenir un niveau de qualité élevé dans les volets susmentionnés. Outre le fabricant, la responsabilité du bureau d'ingénieurs chargé du projet, de l'entreprise de construction et du maître de l'ouvrage est engagée. Il faut que tous les intervenants soient conscients de leurs responsabilités pour améliorer la qualité d'ensemble et garantir le bon fonctionnement des filets de protection. Les tâches des protagonistes sont énumérées au tableau 1. Les sources d'information à leur sujet sont également indiquées pour mieux renseigner les intéressés.

Tableau 1 :

Tâches des protagonistes et sources d'information.

Fabricant	Autosurveillance de la production avec contrôle de la qualité en usine (CQU) Élaboration de la documentation concernant le filet Calcul des forces déterminantes Rapport d'évaluation (preuve du respect des exigences techniques et documentation) Identification des éléments Instructions concernant l'emballage et le transport	DEE Annexe A3 DEE Point 4.4.5.2, annexe A4 Point 4.4, annexe A5 DEE DEE
Autorité (organisme notifié)	Première vérification du produit Première inspection de l'ouvrage et examen du CQU Surveillance périodique du CQU par un OE	DEE DEE DEE
Autorité (OFEV)	Tenue d'un répertoire des produits	Point 4.2
Ingénieur	Établissement du projet de filet de protection (site, classe d'énergie, hauteur) Détermination du type et du nombre de tirants à tester Dimensionnement des ancrages et des fondations Surveillance des travaux de construction et vérifications de la qualité (p.ex. mortier d'ancrage)	Annexe B3 Point 4.6, annexes B1, B2
Entreprise	Tests de tirants Protocoles des travaux de forage et d'injection Exécution des fondations et des ancrages Montage du filet	Annexe B3
Maître de l'ouvrage	Détermination des objectifs de la mesure (classe d'énergie) Fixation des exigences (notamment critères de qualification et d'adjudication) Détermination du degré de protection anticorrosion des ancrages Travaux d'entretien et de réparation	Point 4.6, annexes A1 à A3 Annexe B4

4.2 Condition pour obtenir une subvention

D'après l'annexe A7 du manuel sur les conventions-programmes conclues dans le domaine de l'environnement⁸, l'OFEV subventionne seulement les mesures et les projets impliquant des filets pare-pierres qui respectent les normes et les directives en vigueur. Il incombe au maître de l'ouvrage de définir, dans le cadre de la procédure d'appel d'offres et d'adjudication, les exigences posées aux filets de protection et à leur installation à l'emplacement prévu. Les exigences et les critères de qualité à satisfaire selon l'état actuel des connaissances et l'expérience acquise sont décrits ci-après sous 4,3 à 4,5.

En disposant d'une évaluation technique européenne valable selon le document d'évaluation européen, le fournisseur de filets de protection montre qu'il satisfait à une partie seulement de ces exigences. La marque CE assignée à un produit n'est pas un label de qualité, mais une étiquette applicable à discrétion par celui qui le commercialise et par laquelle il signale qu'il connaît les exigences particulières au produit qu'il diffuse et que ledit produit satisfait à ces exigences.

Les évaluations techniques européennes ne comprennent aucune indication au sujet des exigences formulées au point 4.4. Le fournisseur d'un filet pare-pierres doit prouver que son produit satisfait à ces critères au moyen de documents séparés.

À la demande du fabricant et sur le modèle d'un rapport d'évaluation selon les annexes A1 à A3, l'OFEV énumère les filets estampillés CE, qui satisfont également aux exigences mentionnées au point 4.4. Ces informations sont accessibles au public à l'adresse www.bafu.admin.ch/homologation.

4.3 Comparaison entre les essais obliques et verticaux

En Suisse, une procédure d'essai impliquant des trajectoires de pente $\omega = 90^\circ$ est appliquée depuis 2001 (ω = angle entre la trajectoire du bloc et le plan horizontal, $\omega = 90^\circ$ signifiant une trajectoire verticale). Le document d'évaluation européen DEE permet en revanche de procéder à des essais sous un angle $0^\circ \leq \omega \leq 90^\circ$, ce qui revient à dire qu'elle autorise aussi des trajectoires horizontales et obliques. Jusqu'en 2013, les filets agréés selon le DEE ont été testés à une exception près sous un angle ω d'environ 30° ou égal à 90° . Une étude comparative réalisée par le WSL⁹ a montré que la valeur de ces deux angles n'avait qu'une faible incidence sur les forces maximales mesurées et sur la distance de freinage. Lors d'un impact vertical, les éléments de freinage sont par contre étirés jusqu'à la moitié plus que sous l'effet d'un impact oblique. Par ailleurs, la hauteur utile résiduelle est, lors d'un impact vertical, environ 15 % plus faible que lors d'un impact oblique (~ 10 % de la hauteur nominale).

On en tire les conclusions suivantes :

Les deux procédures ($\omega \sim 30^\circ$ et $\omega = 90^\circ$) peuvent être considérées comme équivalentes si les essais ont été réalisés en chute libre selon le DEE. S'ils ont été pratiqués sous un angle oblique $\omega > 30^\circ$ selon le DEE, il faut montrer que les conditions suivantes sont satisfaites :

- L'étirement des éléments de freinage présente une réserve de 50 % par rapport à l'étirement lors d'un essai oblique au niveau d'énergie maximal (MEL).
- Si la force de résistance des éléments de freinage augmente avec leur étirement, les parties reliées aux éléments de freinage (câbles, piliers, nappes de filets) disposent des réserves de charge ultime nécessaires.
- La structure de l'ensemble du système autorise la distance de freinage accrue.
- La hauteur des filets est choisie de manière à compenser la réduction de 15 % de la hauteur utile résiduelle (~ 10 % de la hauteur nominale).

⁸ Version en vigueur au moment de la publication du présent guide pratique: Manuel sur les conventions-programmes 2016–2019 dans le domaine de l'environnement. Communication de l'OFEV en tant qu'autorité d'exécution. Office fédéral de l'environnement, Berne 2015. L'environnement pratique n° 1501 : 266 p. Publié sous: www.bafu.admin.ch/mcpe

⁹ Volkwein, A., & Stähli, M. (2013): Einfluss verschiedener Prüfverfahren nach ETAG 027 – Zusammenfassung; WSL Birmensdorf.

Les essais sous un angle $\omega < 30^\circ$ ne peuvent pas être considérés comme équivalents aux essais sous un angle plus élevé ou droit (chute verticale). Des impacts d'angle $\omega \sim 0^\circ$ ont en effet montré que les projectiles étaient parfois expulsés hors du filet à l'issue du freinage, si bien que certaines valeurs requises ne pouvaient pas être mesurées correctement. Les résultats de l'étude comparative ne s'appliquent donc que partiellement aux trajectoires de pente très faible.

Pour satisfaire aux divers usages prévus ainsi qu'aux exigences posées par le site d'implantation des filets, les appels d'offres devraient soit prévoir une procédure de test, soit inclure les preuves susmentionnées dans les critères de qualification.

4.4 Exigences posées aux filets pare-pierres

4.4.1 Documents requis

En Suisse, les documents suivants doivent être établis et fournis aux maîtres d'ouvrages pour leur permettre d'évaluer les critères mentionnés sous 4,4 et 4,5 :

- documentation technique (y compris plans et calcul des forces déterminantes);
- instructions de montage;
- manuel de maintenance.

La documentation technique comprendra des données concernant l'assemblage des éléments porteurs en sus des dimensions, du poids et de la qualité des matériaux. Elle inclura aussi des dessins de construction et certaines données particulières parmi lesquelles, notamment, les trajectoires des projectiles dans le filet et les forces déterminantes subies par les câbles porteurs. Ces forces ne doivent pas être confondues avec les forces mesurées dans le cadre de l'homologation des filets de protection contre les chutes de pierres. Lors de l'homologation, les forces sont mesurées individuellement dans différents câbles, puis les forces subies par les câbles porteurs devraient être regroupées dans la documentation technique pour permettre de comparer divers filets de protection.

Les instructions de montage devraient comprendre des indications au sujet de l'implantation des filets en plus du

montage de leurs éléments. Il est judicieux d'y ajouter des données concernant les travaux de forage et les dangers d'accidents éventuels.

Le manuel de maintenance comprend des données au sujet de l'inspection, la remise en état et la réparation des filets.

4.4.2 Exigences techniques prioritaires

Les expériences faites jusqu'ici avec les filets pare-pierres ont montré que seuls les ouvrages répondant à des exigences de qualité élevées sont à même de garantir la sécurité qu'on attend d'eux. Il existe un groupe de critères prioritaires qui doivent être intégralement satisfaits pour qu'aucun élément crucial pour le fonctionnement de l'ensemble du système ne fasse défaut. En effet, par exemple, même le filet le plus résistant est inutile si ses ancrages sont trop faibles parce que mal dimensionnés.

Ces exigences techniques figurent dans les documents fournis par le fabricant. Ce sont, d'une part, la documentation relative à l'évaluation technique européenne (ETE) et, d'autre part, les documents spécifiques exigés comprenant la documentation technique, les instructions de montage et le manuel de maintenance. Les exigences prescrites concernent les valeurs suivantes :

- trajectoires des projectiles dans le filet (diagrammes chemin/temps depuis le premier contact avec le filet jusqu'à son élongation maximale, données comprises);
- masse, vitesse, distance de freinage et temps de freinage des projectiles lors des essais;
- filet de catégorie A: hauteur résiduelle $h_R \geq 50\%$ de la hauteur nominale après l'essai au niveau d'énergie maximal (MEL);
- pente du plan de référence;
- hauteur nominale et hauteur résiduelle du filet lors des essais;
- schéma des ancrages;
- forces déterminantes exercées sur les ancrages;
- élongation ou distance de freinage maximale;
- haubanage pour les longues rangées de filets.

La hauteur résiduelle h_R , mesurée à l'issue de l'essai au niveau d'énergie maximal (MEL), doit être supérieure à 50 % de la hauteur nominale h_N ($h_R \geq 50\% h_N$). Si les

essais ont été réalisés selon une trajectoire oblique (de pente $\omega > 30^\circ$), la hauteur résiduelle doit être majorée ($h_R \geq 65\% h_N$) pour compenser l'écart de 15 % entre les différentes configurations de test.

Les forces déterminantes sont calculées en appliquant la méthode décrite dans le présent guide pratique. On exposera les valeurs intermédiaires et les résultats obtenus.

La distance maximale de freinage w correspondant aux différentes classes d'énergie ne doit pas dépasser les valeurs indiquées au tableau 2. Elle est calculée en appliquant l'équation suivante :

$$w = 1,534 \times \ln(\text{valeur MEL en kJ}) - 3,06$$

Le tableau 2 fournit la distance maximale de freinage w calculée, arrondie au demi-mètre le plus proche.

La longueur des rangées de filets munies d'éléments de freinage aux ancrages latéraux seulement est limitée. Elle ne dépassera pas 60 m en l'absence de haubannage intermédiaire avec séparation des câbles et des freins. Le haubannage intermédiaire doit être illustré et décrit dans la documentation technique et dans les instructions de montage.

Si un filet pare-pierres ne satisfait pas à l'un des critères susmentionnés, il ne doit être ni acquis ni utilisé (voir annexe A1).

4.4.3 Preuve du respect des exigences techniques prioritaires

Si la documentation fournie lors de l'acquisition d'un filet pare-pierres ne prouve pas qu'il satisfait pleinement aux exigences techniques prioritaires, sa qualité sera vérifiée en le soumettant à un essai réalisé avec un organisme

indépendant sur une installation de test. Les critères requis pourront être mesurés et évalués lors de cet essai. Servant de contrôle à la réception, il devrait être réalisé avant l'achat définitif de l'ouvrage complet.

Une vérification est aussi indiquée lorsque la qualité du filet fait l'objet de doutes considérables fondés.

4.4.4 Autres exigences techniques

Il existe aussi un groupe d'exigences techniques certes importantes, mais pas cruciales pour le fonctionnement de l'ensemble du système. Il est toutefois déconseillé d'utiliser un filet qui remplit trop peu de ces critères (voir annexe A2).

Il est important que les filets puissent être adaptés aux caractéristiques du terrain. On doit pouvoir les installer même en terrain difficile et exigü.

Les filets doivent pouvoir être montés d'une manière sûre et aussi simple que possible.

Seuls les filets bien entretenus fonctionnent correctement. Les travaux nécessaires seront exécutés plus régulièrement lorsque l'entretien de l'ouvrage peut être fait de manière sûre et aisée. Les filets simples à entretenir présentent donc un avantage.

Tous ces critères ne sont pas considérés dans l'évaluation technique européenne (ETE).

4.4.5 Exigences posées à la documentation

4.4.5.1 Évaluation des documents

Tous les documents cités au point 4.4.1 doivent être produits en français, en allemand et en italien. Ils seront évalués en fonction des critères énumérés à l'annexe A3. Ces critères concernent essentiellement le contenu des

Tableau 2 :

Distance maximale de freinage en fonction de la classe d'énergie

Niveau d'énergie	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Valeur MEL (kJ)	100	250	500	1000	1500	2000	3000	4500	>4500
Distance max. de freinage (m)	4	5,5	6,5	7,5	8,5	9	9,5	10	w*

* À calculer selon l'équation ci-dessus

différents documents. Il est recommandé d'appliquer le système de points décrit dans l'annexe pour les évaluer. Plus un document satisfait à un grand nombre de critères, plus le nombre de points obtenus est élevé. Un nombre minimal de points devrait être atteint dans chaque document.

4.4.5.2 Calcul des forces exercées sur les ancrages

Le calcul des forces déterminantes subies par les câbles doit être présenté sous une forme aisément compréhensible dans la documentation technique. Il se basera sur les forces mesurées lors des essais d'homologation et sur les dimensions du filet lors des essais. Les charges statiques de remplacement sont calculées à partir des forces déterminantes. On fournira leur grandeur et leur direction. Lorsque les forces exercées sur les câbles de retenue sont mesurées en plusieurs points, on déterminera quel ancrage a été le plus sollicité. Les charges statiques de remplacement sont indiquées par les forces exercées sur les ancrages. La méthode de calcul des forces déterminantes et des charges statiques de remplacement est décrite à l'annexe A4.

4.4.6 Essai de montage

Si l'aptitude à l'usage d'un filet pare-pierres ne peut pas être évaluée d'une manière probante en appliquant les critères décrits aux annexes A1 à A3, il faut exiger un essai de montage. La réalisation et le financement ainsi que les critères d'évaluation de cet essai seront convenus préalablement entre les protagonistes.

4.5 Vérification du respect des exigences et des critères de qualification

L'application d'un système de points permet de vérifier si les exigences sont respectées. Dans le présent guide, un point est octroyé pour chaque exigence satisfaite, puis les points obtenus sont cumulés. Un maximum de 99 (102) points peut être atteint. Il incombe au maître de l'ouvrage de fixer une limite inférieure. Il est recommandé de la poser vers 80 % du nombre maximal de points.

Il est recommandé de regrouper les critères et d'exiger un minimum de points par groupe pour s'assurer que tous les facteurs qui influencent la qualité des filets et de leur

installation soient pris en compte de manière appropriée (voir annexes A1 à A3).

Un service spécialisé ou un spécialiste indépendant vérifiera si les exigences posées à un filet pare-pierres selon le point 4.4 sont respectées. Lors de l'adjudication d'un mandat, le maître de l'ouvrage devrait demander un rapport d'évaluation (voir annexe A5) au fabricant. Ce dernier a donc intérêt à faire établir un tel rapport à l'avance.

Pour s'assurer lors de l'adjudication d'un mandat que le filet pare-pierres proposé satisfait à ces exigences de qualité élevées, il est recommandé au maître de l'ouvrage d'inclure dans les critères de qualification la production d'un rapport d'évaluation montrant que l'ouvrage atteint le nombre minimal de points requis et d'une évaluation technique européenne selon le document d'évaluation européen DP 14-34-0059-01.6.

4.6 Exigences posées aux ancrages et aux fondations

Les ancrages et les fondations seront soumis à des exigences particulièrement élevées. Ils doivent rester intacts lors d'un impact dans le filet, car les dommages subis par ces éléments enterrés sont souvent difficiles à identifier. Le remplacement ou la réparation de fondations endommagées est compliqué et onéreux, aussi doivent-elles être robustes.

4.6.1 Actions exercées sur les ancrages et les fondations

La mise en œuvre de filets pare-pierres dans le cadre d'un projet se base sur les charges statiques de remplacement, c'est-à-dire sur les forces exercées sur les ancrages, qui sont consignées dans la documentation fournie par le fabricant. Ces forces étant influencées par les conditions dans lesquelles les essais ont été réalisés, elles ne sont pas identiques à celles du projet considéré. C'est pourquoi on étudiera la configuration géométrique dans les deux situations et on s'efforcera de réduire l'écart autant que possible. Les ancrages des différents câbles et les actions exercées sur les fondations sont décrits à l'annexe B1.

Les conditions sont relativement simples pour les ancrages des câbles porteurs inférieurs. La charge horizontale de remplacement résultant des essais doit être reprise dans le sol en déviant le moins possible. Les forces de déviation seront prises en compte en sus selon l'inclinaison des ancrages.

Aucune force de déviation ne doit être considérée pour les ancrages reprenant les charges statiques de remplacement subies par les câbles porteurs supérieurs si l'inclinaison de ces câbles correspond à l'inclinaison de leurs ancrages. Si les charges de remplacement subies par les câbles porteurs inférieurs et supérieurs sont transmises dans le sol par les mêmes ancrages, la géométrie la plus favorable consiste à installer des ancrages d'inclinaison médiane. Dans ce cas, les forces de déviation subies par les câbles porteurs supérieurs jouent également un rôle significatif.

L'ancrage des câbles de retenue est influencé par plusieurs facteurs. L'angle α entre le plan de ces câbles et le plan des piliers devrait rester aussi constant que possible. Il faut aussi considérer les forces de déviation résultant de l'accrochage de deux câbles au même ancrage. Cet ancrage peut être sollicité dans trois directions (voir annexe B1).

En ce qui concerne les actions subies par les fondations des plaques de base, on admet qu'elles sont sollicitées à peu près parallèlement à la surface du sol sous l'effet de la charge exercée par les câbles porteurs inférieurs. La déviation de ces câbles génère une force de cisaillement de grandeur sensiblement égale à celle des forces mesurées dans les câbles.

La déviation des câbles porteurs supérieurs et les forces subies par les câbles de retenue induisent une pression dans les piliers qui se répercute sur les fondations dans la direction de ces piliers (annexe B1).

4.6.2 Dimensionnement des ancrages et des fondations

Les ancrages et les fondations sont actuellement dimensionnés en appliquant différentes méthodes et approches. En règle générale, la combinaison du facteur de charge et du coefficient de résistance des normes SIA

avec la valeur préconisée dans ce guide pratique pour calculer les charges de remplacement fournit souvent une valeur jugée excessive. Il faut étudier la question afin de dimensionner les ancrages et les fondations selon des critères uniformes aisément applicables.

Nous recommandons de dimensionner les ancrages des filets pare-pierres selon le présent guide pratique et non plus d'après la norme SIA 267. L'annexe B2 fournit des indications détaillées au sujet des valeurs de dimensionnement – aussi dites valeur de calcul – et d'autres facteurs devant être appliqués.

Il faut aussi connaître la résistance ultime des ancrages pour pouvoir les dimensionner. Si ces valeurs sont seulement admises ou estimées à partir de tableaux, on majorera le coefficient de résistance.

La sécurité structurale est considérée comme démontrée lorsque la valeur de calcul de l'action est inférieure à la valeur de calcul de la résistance ultime.

Lorsque la résistance ultime est déterminée à l'aide d'essais pratiqués sur des tirants-tests, les dispositions de l'annexe B3 sont déterminantes.

Pour les fondations de piliers encastrés, on déterminera aussi bien les moments de flexion (actions exercées par les piliers) que les efforts tranchants (actions exercées par les câbles porteurs inférieurs).

4.6.3 Protection des ancrages et des fondations contre la corrosion

Les mesures anticorrosion qu'il y a lieu d'appliquer aux tirants d'ancrage en acier les protègent contre la corrosion anodique. Pour les tirants d'ancrage des filets pare-pierres, trois degrés de protection sont envisageables. Le degré 1 correspond à la situation normale. Il signifie qu'un mortier de ciment d'une épaisseur minimale de 20 mm est placé entre l'élément soumis à traction et la paroi du forage. On peut exiger en plus une couche d'oxydation de 2 mm d'épaisseur. S'il est prévu d'utiliser le filet pendant une courte durée (< 5 ans), aucune mesure particulière n'est nécessaire (degré de protection 0). Par contre, lorsque les exigences en matière de protection anticorrosion sont plus élevées, c'est le degré 2 qui doit

Tableau 3
Mesures anticorrosion en fonction du degré de protection

Degré de protection	Enrobage de l'élément soumis à traction	Tête d'ancrage
0	Aucune mesure particulière	Aucune mesure particulière
1 1a	<ul style="list-style-type: none"> · 20 mm de mortier de ciment entre l'élément soumis à traction et la paroi du forage · Couche d'oxydation de 2 mm par face extérieure 	Galvanisée
2	<ul style="list-style-type: none"> · Tube de gainage nervuré en matière plastique, fermé à son extrémité inférieure · Tube de gainage introduit jusque dans le béton · 20 mm de mortier de ciment entre le tube de gainage et la paroi du forage · 5 mm de coulis de ciment entre l'élément soumis à traction et le tube de gainage en cas de fabrication industrielle 	Entourée de béton, couverture d'au moins 50 mm
3	Non appliqué aux filets de protection contre les chutes de pierres	

être appliqué. Dans ce cas, l'élément soumis à traction est protégé par un tube de gainage. Le mortier de ciment inséré dans le tube aura une épaisseur minimale de 5 mm en cas de fabrication industrielle et le mortier de ciment appliqué autour du tube aura une épaisseur minimale de 20 mm (tableau 3).

On appliquera également le degré de protection 2 en présence de courants vagabonds, par exemple à proximité d'une ligne de chemin de fer (courant continu). Notons que chaque micropieu doit être isolé électriquement dans ce cas. L'annexe B4 comprend un exemple à ce sujet.

4.6.4 Utilisation de mortier d'ancrage

Si du mortier d'ancrage est appliqué aux ancrages, il ne faut utiliser que du mortier homologué, comme dans le cas des ouvrages paravalanches. Les exigences à leur sujet et les tests à réaliser pendant la construction sont décrits dans le document « Construction d'ouvrages paravalanches dans la zone de décrochement » (L'environnement pratique n° 0704, OFEV et SLF, 2007).

Annexe A1 : Critères prioritaires d'évaluation des performances des filets

	Oui
Trajectoires du projectile dans le filet (diagrammes chemin/temps depuis le premier contact avec le filet jusqu'à son élongation maximale; au moins 100 Hz)	1
SEL1 : masse (kg), vitesse (m/s), distance de freinage (m), temps de freinage (s)	1
SEL2 : masse (kg), vitesse (m/s), distance de freinage (m), temps de freinage (s)	1
MEL : masse (kg), vitesse (m/s), distance de freinage (m), temps de freinage (s)	1
Filet de catégorie A : hauteur résiduelle $h_R \geq 50\%$ ou $\geq 65\%$ de la hauteur nominale h_N	1
Pente du plan de référence (degrés)	1
SEL1 : hauteur nominale (m), hauteur résiduelle (m), hauteur résiduelle relative (%)	1
MEL : hauteur nominale (m), hauteur résiduelle (m), hauteur résiduelle relative (%)	1
Forces mesurées lors des essais d'homologation avec indication du nombre de câbles (diagrammes force/temps; temps = 0 au premier contact avec le filet; au moins 100 Hz)	1
Schéma du système avec illustration du passage des câbles et emplacement des cellules de mesure	1
Diagrammes force/chemin des freins tirés des essais statiques	1
Forces déterminantes selon l'annexe A4 calculées et illustrées	1
Schéma des ancrages avec indication des forces de remplacement	1
Distance de freinage maximale selon le tableau 2 respectée	1
Longueur maximale du filet sans haubanage intermédiaire égale à 60 m	1
Présence d'un treillis additionnel	1
Nombre de points maximal possible:	16 points
Nombre de points minimal recommandé:	16 points

Annexe A2 : Critères d'évaluation des filets

Critères concernant la capacité d'adaptation au terrain	Oui
Place nécessaire : aucun hauban aval n'est généralement nécessaire	1
Aucune construction avec des filets érigés vers l'amont	1
Pas d'exécution spéciale (filets) jusqu'à une divergence horizontale de 15° (voir figure ci-dessous)	1
Pas d'exécution spéciale (filets) jusqu'à une divergence verticale de 10° (voir figure ci-dessous)	1
Critères concernant le montage	Oui
Danger d'accident : un dispositif empêche les piliers de basculer vers l'amont*	1
Manipulation : aucun câble n'a un diamètre supérieur à 24 mm	1
Critères concernant l'entretien	Oui
Endommagement des plaques de base : y a-t-il un fusible mécanique au pied des piliers ?	1
Est-il possible de remplacer les éléments de freinage sans démonter les câbles ?	1
Est-il possible de remplacer des éléments du filet (en cas de dommages localisés) ?	1
Est-il possible de remplacer des piliers sans démonter les câbles ?	1

*Ce critère doit être satisfait dans tous les cas

Nombre de points maximal possible : 10 points

Nombre de points minimal recommandé : 8 points

Figure A2.1

Vue en plan d'un filet de protection qui présente une divergence horizontale de 15°

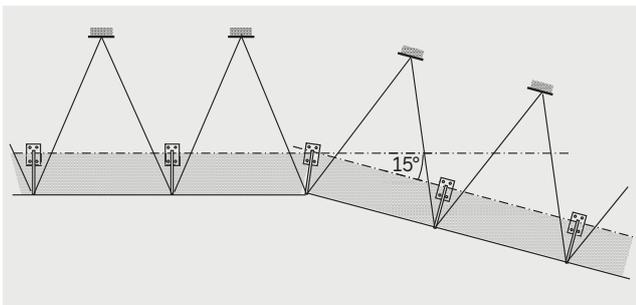
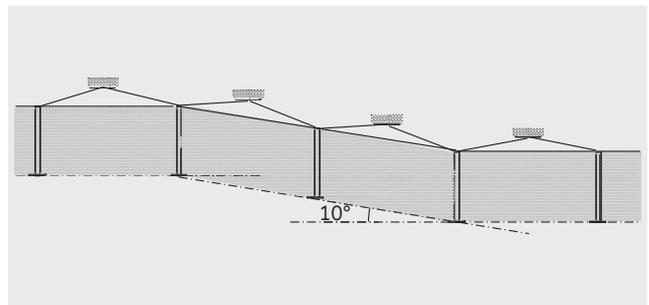


Figure A2.2

Vue en élévation d'un filet de protection qui présente une divergence verticale de 10°



Annexe A3 : Critères d'évaluation de la documentation

A3.1 Documentation technique

	Oui
Tous les éléments porteurs figurent-ils dans la table des matières?	1
Caractéristiques des éléments porteurs	
Filet: dessin, dimensions, poids, type de matériau ?	1
Treillis: dessin, dimensions, poids, type de matériau ?	1
Piliers: dessin, dimensions, poids, type de matériau ?	1
Plaques de base: dessin, dimensions, poids, type de matériau ?	1
Câbles: dessin, dimensions, poids, type de matériau ?	1
Éléments de freinage: dessin, dimensions, poids, type de matériau ?	1
Pièces de raccordement: dessin, dimensions, poids, type de matériau ?	1
Le diagramme force/chemin des éléments de freinage est-il présent ?	1
Assemblage des éléments porteurs	
Le passage des câbles est-il indiqué ?	1
L'emplacement et la nature des éléments de freinage sont-ils indiqués ?	1
Le mode de fixation du filet est-il indiqué ?	1
Indications supplémentaires concernant les forces	
Toutes les forces maximales subies par les câbles lors des essais sont-elles indiquées ?	1
Toutes les forces déterminantes subies par les câbles sont-elles indiquées ?	1
Toutes les charges statiques de remplacement sont-elles indiquées ?	1
Toutes les forces exercées sur les ancrages sont-elles indiquées ?	1

Nombre de points maximal possible: 16 points

Nombre de points minimal recommandé: 13 points

A3.2 Instructions de montage

Implantation	Oui
Toutes les aides à l'implantation sont-elles énumérées ?	1
Les indications concernant l'implantation de la ligne de base sont-elles illustrées ?	1
Y a-t-il des indications complémentaires en cas de divergence horizontale ?	1
Y a-t-il des indications complémentaires en cas de divergence verticale ?	1
L'implantation des ancrages latéraux est-elle décrite ?	1
L'implantation des ancrages des câbles de retenue est-elle décrite ?	1
Y a-t-il des indications concernant l'implantation de haubans intermédiaires ?	1
Montage des plaques de base	Oui
Les aides au montage nécessaires sont-elles énumérées ?	1
Les différents éléments des plaques de base sont-ils décrits ?	1
L'emplacement, la direction et l'inclinaison des plaques de base sont-ils indiqués ?	1
Montage des piliers	Oui
Les différents éléments des piliers sont-ils décrits ?	1
Les différences entre les piliers (de bordure, médians) sont-elles décrites ?	1
Le prémontage de câbles est-il décrit, si nécessaire ?	1
Le dispositif antibasculement des piliers est-il décrit ?	1
L'inclinaison prévue des piliers est-elle indiquée ?	1
Montage des câbles	Oui
Câbles de retenue	
Les différents éléments sont-ils décrits ?	1
Le montage d'éléments de freinage est-il décrit, si nécessaire ?	1
Les pièces de raccordement (p. ex. taille des manilles) sont-elles décrites ?	1
Haubans latéraux	
Les différents éléments sont-ils décrits ?	1
Les pièces de raccordement (p. ex. taille des manilles) sont-elles décrites ?	1
Câbles porteurs inférieurs	
Les différents éléments sont-ils décrits ?	1
Le montage d'éléments de freinage est-il décrit, si nécessaire ?	1
Les pièces de raccordement (p. ex. taille des manilles) sont-elles décrites ?	1
Câbles porteurs supérieurs	
Les différents éléments sont-ils décrits ?	1
Le montage d'éléments de freinage est-il décrit, si nécessaire ?	1
Les pièces de raccordement (p. ex. taille des manilles) sont-elles décrites ?	1
Câbles filants (s'il y en a)	
Les différents éléments sont-ils décrits ?	(1)
Le montage d'éléments de freinage est-il décrit, si nécessaire ?	(1)
Les pièces de raccordement (p. ex. taille des manilles) sont-elles décrites ?	(1)
Haubans intermédiaires	
Les différents éléments sont-ils décrits ?	1
Le montage d'éléments de freinage est-il décrit, si nécessaire ?	1
Les pièces de raccordement (p. ex. taille des manilles) sont-elles décrites ?	1
Montage des filets	
Les différents éléments des filets sont-ils décrits ?	1
Le prémontage d'éléments de filets est-il décrit, si nécessaire ?	1
Les pièces de raccordement (p. ex. taille des manilles) sont-elles décrites ?	1
Le processus de montage est-il décrit pour l'ensemble et pour tous les éléments du filet ?	1
Achèvement du montage	
Le montage du treillis additionnel est-il décrit ?	1
Le nombre de points de fixation est-il décrit ?	1
Y a-t-il une check-list pour assister le contrôle final du montage ?	1
Les couples de serrage des serre-câbles sont-ils indiqués ?	1
Y a-t-il des indications au sujet des dangers d'accidents possibles ?	1

Nombre de points maximal possible: 38(41) points

Nombre de points minimal recommandé: 30(33) points

A3.3 Manuel de maintenance

Inspection	Oui
L'intervalle entre les inspections est-il indiqué ?	1
Les critères d'inspection sont-ils indiqués ?	1
Y a-t-il une fiche de contrôle servant d'exemple de protocole ?	1
Remise en état	Oui
Y a-t-il des critères de remise en état ?	1
Est-il indiqué quand le filet doit être remplacé ?	1
Est-il indiqué quand le treillis doit être remplacé ?	1
Est-il indiqué quand les piliers doivent être remplacés ?	1
Est-il indiqué quand les plaques de base doivent être remplacées ?	1
Est-il indiqué quand les câbles doivent être remplacés ?	1
Est-il indiqué quand les éléments de freinage doivent être remplacés ?	1
Est-il indiqué quand les pièces de raccordement doivent être remplacées ?	1
Réparation	Oui
Les travaux de réparation sont-ils décrits ?	1
La procédure de réparation du filet est-elle décrite ?	1
La procédure de réparation du treillis est-elle décrite ?	1
La procédure de réparation des piliers est-elle décrite ?	1
La procédure de réparation des plaques de base est-elle décrite ?	1
La procédure de réparation des câbles est-elle décrite ?	1
La procédure de remplacement des éléments de freinage est-elle décrite ?	1
La procédure de remplacement des pièces de raccordement est-elle décrite ?	1

Nombre de points maximal possible : 19 points

Nombre de points minimal recommandé : 15 points

Annexe A4 : Calcul des forces déterminantes subies par les câbles

Les diverses valeurs mesurées lors de chaque essai sont consignées dans les documents liés à la procédure d'homologation européenne. Elles ne peuvent pas toujours être mises en regard des résultats d'autres procédures d'essais européennes. En particulier, les forces mesurées ne sont pas directement comparables avec les forces subies par d'autres types de filets pare-pierres. Or la grandeur des forces est cruciale pour déterminer, dans le cadre d'un projet, l'ancrage au sol d'un filet homologué. Les méthodes décrites dans cette annexe A4 préconisent des règles uniformes permettant de comparer les forces subies par différents types de filets. Ces méthodes tiennent compte des conditions variables d'une installation d'essais à l'autre et montrent comment calculer les forces déterminantes subies par les câbles à partir des valeurs susceptibles d'apparaître à différents instants.

Puis les forces statiques de remplacement sont calculées à partir des forces déterminantes subies par les câbles. Elles sont consignées en grandeur et en direction dans la documentation fournie par le fabricant du filet. Ces forces statiques de remplacement peuvent être compa-

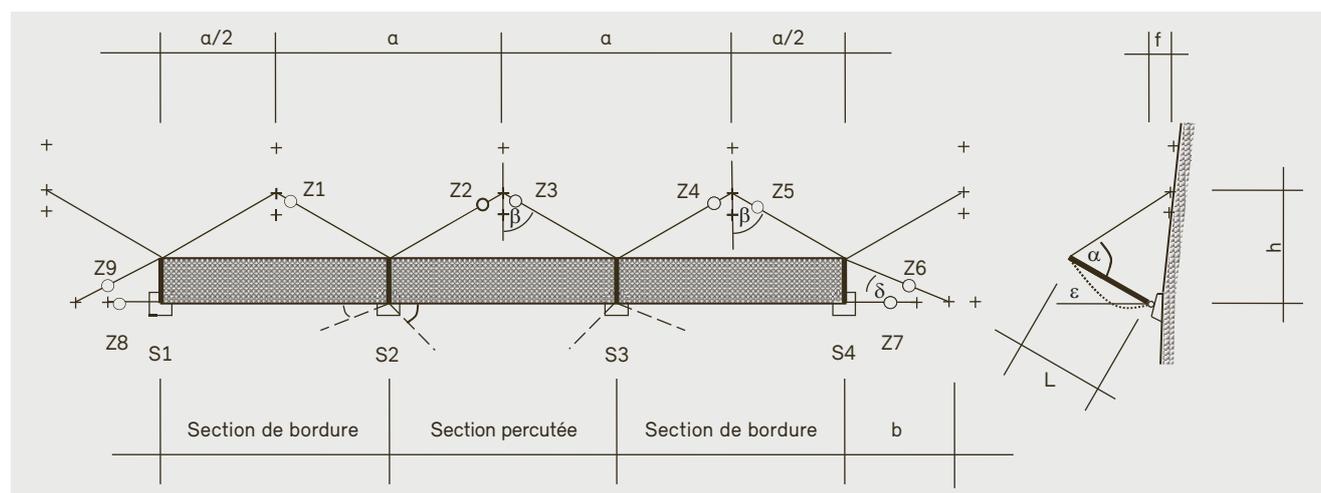
rées avec les forces déclarées par d'autres fabricants; elles servent de base pour dimensionner les ancrages et les fondations.

A4.1 Configuration des câbles porteurs lors des essais d'homologation

La géométrie des filets pare-pierres – et de leurs éléments porteurs (piliers, nappes de filets, câbles, ancrages) – adoptée lors des essais d'homologation est déterminante lorsqu'on effectue des calculs impliquant les forces résultantes. C'est pourquoi il faut représenter les filets avec leurs dimensions effectives et calculer les angles déterminants. Ce sont, d'une part, l'angle α entre le plan des piliers et le plan des câbles de retenue, inscrit dans le plan vertical, et, d'autre part, l'angle β entre les perpendiculaires à la ligne des ancrages et les câbles de retenue, inscrit dans le plan des câbles de retenue (figure A4.1).

Figure A4.1

Configuration des câbles porteurs et des cellules de mesure



L'angle α entre dans la détermination des forces résultantes exercées sur les ancrages des câbles de retenue (dans le plan vertical). Il se compose de l'inclinaison du plan des piliers (ε) et de l'inclinaison du plan des câbles de retenue. L'inclinaison du plan des câbles de retenue dépend pour sa part de la longueur des piliers L et de l'emplacement des ancrages f (les points d'ancrage moyens ont été appliqués dans l'exemple de la figure A4.1). Avec ces ancrages, l'angle α se calcule comme suit :

$$\alpha = \varepsilon + \arctan \frac{h - L \times \sin \varepsilon}{L \times \cos \varepsilon + f} \quad (1)$$

L'angle β entre dans la détermination des forces résultantes exercées dans le plan des câbles de retenue. Pour le calculer, il faut considérer, dans ce plan, la distance a entre les piliers et la distance entre les têtes de piliers et leurs ancrages. Dans la rangée moyenne d'ancrages, l'angle β se calcule comme suit :

$$\beta = \arctan \frac{a \div 2}{\sqrt{(h - L \times \sin \varepsilon)^2 + (L \times \cos \varepsilon + f)^2}} \quad (2)$$

L'angle δ est utilisé pour déterminer, aux ancrages latéraux, la direction des forces subies par les câbles porteurs supérieurs. Pour le calculer, il faut considérer, dans le plan du pilier de bordure, la distance entre l'ancrage du câble et le pied du pilier ainsi que la longueur du pilier. Pour l'ancrage latéral, on obtient donc l'angle δ suivant :

$$\delta = \arctan \frac{L}{b} \quad (3)$$

A4.2 Forces subies par les câbles porteurs inférieurs

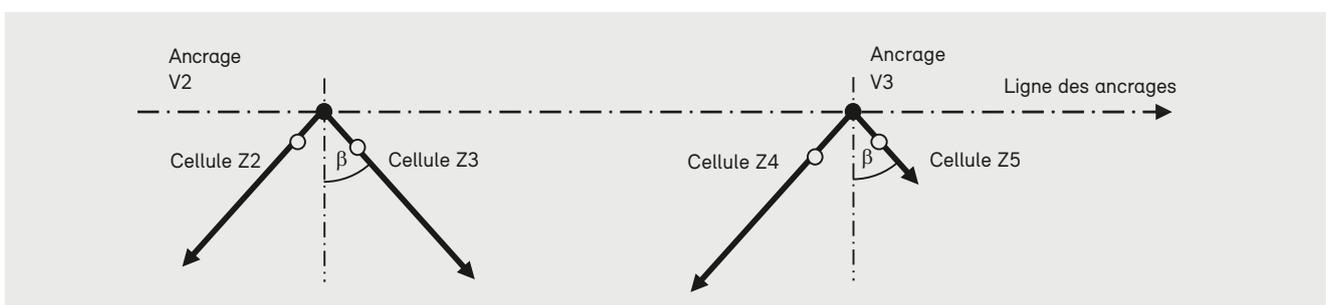
Les forces de traction subies par les câbles porteurs inférieurs sont mesurées aux points d'ancrage latéraux (Z7, Z8). Leur direction correspond à la ligne des pieds de piliers dans presque tous les cas, aussi faut-il généralement transmettre des forces horizontales dans les ancrages. On peut considérer comme forces horizontales déterminantes les forces mesurées ou leur somme. Les valeurs individuelles additionnées auront été mesurées au même instant. La valeur maximale de ce cumul est considérée comme force déterminante subie par les câbles porteurs inférieurs.

A4.3 Forces subies par les câbles porteurs supérieurs

Les forces de traction subies par les câbles porteurs supérieurs sont également mesurées aux points d'ancrages latéraux (Z6, Z9). Leur direction forme un angle oblique δ avec la ligne des pieds de piliers. Cet angle doit être pris en compte dans l'établissement des forces déterminantes. Les valeurs individuelles additionnées auront été mesurées au même instant. La valeur maximale de ce cumul est considérée comme force déterminante subie par les câbles porteurs supérieurs. On en tire les forces déterminantes en direction horizontale et perpendiculairement à elle.

Figure A4.2

Forces maximales dans le plan des câbles de retenue



A4.4 Forces subies par les câbles filants

Les câbles filants sont des câbles horizontaux placés entre les câbles porteurs supérieurs et inférieurs, parallèlement à ceux-ci. Tous les systèmes n'en sont pas équipés.

Les forces de traction subies par les câbles filants sont mesurées aux points d'ancrage latéraux. Leur direction forme un angle oblique δ avec la ligne des pieds de piliers. Cet angle δ doit être pris en compte dans l'établissement des forces déterminantes. Les valeurs individuelles mesurées sont additionnées au même instant. La valeur maximale de ce cumul est considérée comme force déterminante subie par les câbles filants. On en tire les forces déterminantes en direction horizontale et perpendiculairement à elle.

A4.5 Forces subies par les câbles de retenue

Les forces maximales subies par les différents câbles de retenue découlent des forces mesurées aux cellules Z1 à Z5. La valeur maximale est souvent mesurée dans un des câbles de retenue Z1 ou Z4 dirigés vers l'extérieur de la section percutée (figure A4.1). Mais on a déjà mesuré des valeurs maximales au centre, dans un des câbles de retenue Z2 ou Z3. La question qui se pose alors est de savoir si c'est l'ancrage V2 ou V3 qui a été le plus sollicité (figure A4.2).

Pour répondre à cette question, il ne suffit pas d'additionner vectoriellement les valeurs maximales. Il faut aussi tenir compte de l'instant auquel elles apparaissent.

L'addition des composantes des forces apparaissant simultanément dans un intervalle temporel de l'ordre de la demi-seconde permet d'établir la grandeur et la direction des forces déterminantes (exemple à l'annexe A4.5).

Pour établir les valeurs maximales déterminantes, on commence par additionner vectoriellement les forces mesurées dans le plan des câbles de retenue en appliquant l'angle β . Pour ce faire, on additionne les valeurs mesurées aux cellules Z2 et Z3 pour l'ancrage V2 et les valeurs mesurées aux cellules Z4 et Z5 pour l'ancrage V3. Les forces résultantes $V2_p$ et $V3_p$, perpendiculaires à la ligne des ancrages, sont calculées comme suit :

$$V2_p = \cos \beta (Z2 + Z3) \text{ et } V3_p = \cos \beta (Z4 + Z5) \quad (4)$$

Dans la direction de la ligne des ancrages, les forces résultantes $V2_o$ et $V3_o$ sont calculées comme suit :

$$V2_o = \sin \beta (Z3 - Z2) \text{ et } V3_o = \sin \beta (Z5 - Z4) \quad (5)$$

On en tire deux maxima, l'un dans la direction $_p$ perpendiculaire à la ligne des ancrages et l'autre dans la direction $_o$ correspondant à la ligne des ancrages (figure A4.3).

Les forces déterminantes sont établies en comparant les maxima tirés de ces calculs. Un maximum est déterminant en direction $_p$ et un autre en direction $_o$. Pour les ancrages des câbles de retenue, on obtient donc deux valeurs maximales dans le plan de ces câbles.

Figure A4.3

Forces résultantes dans la direction de la ligne des ancrages et parallèlement à elle

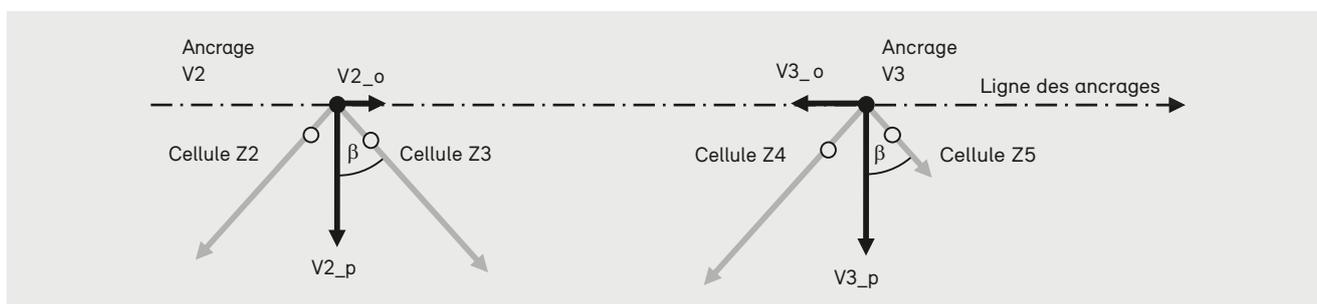
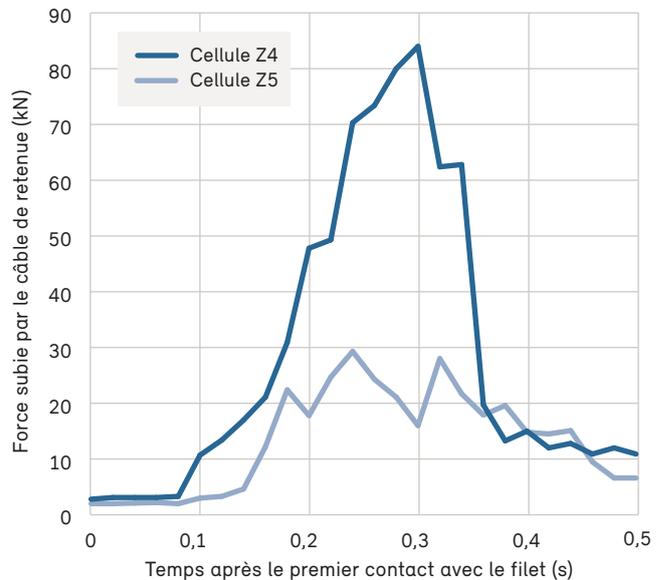
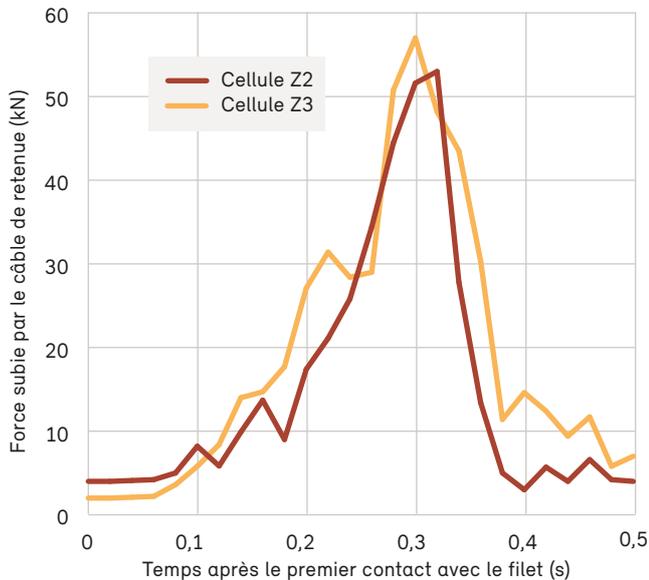


Figure A4.4

Exemple de forces mesurées dans des câbles de retenue



A4.6 Charges statiques de remplacement

Les forces décrites ci-dessus découlent des forces mesurées dans les câbles lors des essais d'homologation des filets et des forces déterminantes F_s exercées sur les ancrages qui sont calculées en fonction de ces forces. D'après l'expérience acquise et selon la directive abrogée sur l'homologation de filets de protection contre les chutes de pierres (voir chapitre 3), il faut généralement majorer les forces résultantes F_s de 30 %. Les forces majorées d'un facteur $\gamma_E = 1,3$ doivent être introduites comme charges statiques de remplacement E_s dans la documentation fournie par le fabricant. On a donc :

$$E_s = F_s \times \gamma_E \quad (6)$$

Le coefficient γ_E sera plutôt considéré comme un facteur d'incertitude que comme un facteur de sécurité. Lors des essais d'homologation, les filets pare-pierres sont en effet sollicités de manière parfaitement centrée par des projectiles « symétriques » alors que c'est rarement le cas dans la nature. La procédure appliquée lors des essais d'homologation est idéale pour permettre de comparer les charges subies par les filets, mais insuffisante pour solliciter certains éléments porteurs au maximum. Lorsque la sollicitation est décentrée, il y a une forte

probabilité que les forces soient supérieures dans certains éléments porteurs.

A4.7 Exemple de calcul des forces déterminantes subies par les câbles de retenue

Les valeurs ci-après ont été déclarées lors des essais d'homologation – verticaux dans notre exemple – du filet de protection décrit ci-dessous. Les deux angles α et β sont calculés à partir de la longueur L des piliers et des distances f et h entre les points d'ancrage et les fondations (figure A4.1).

En appliquant l'équation (1)

$$\alpha = \varepsilon + \arctan \frac{h - L \times \sin \varepsilon}{L \times \cos \varepsilon + f} \quad (1)$$

pour les valeurs $L = 3,5$ m, $f = 0,7$ m et $h = 5$ m on obtient l'angle $\alpha = 71^\circ$.

Figure A4.5

Forces résultantes exercées sur les ancrages V2 et V3 avec indication de leur direction

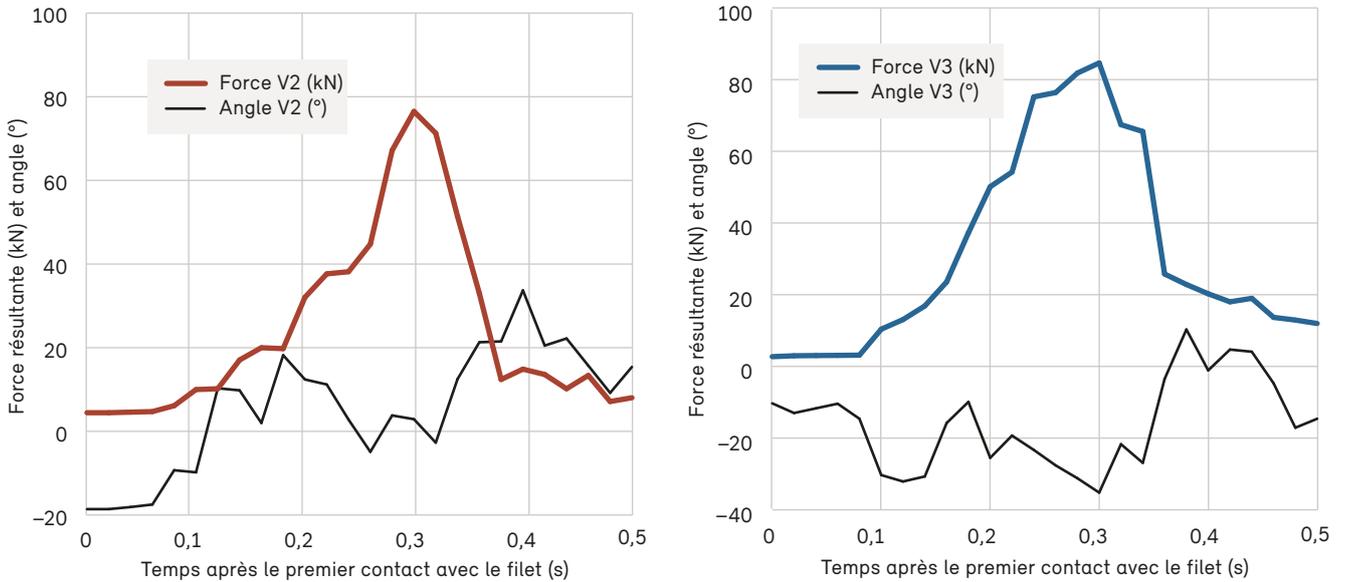


Figure A4.6

Composantes _p et _o de la force résultante au cours de l'intervalle de 0,5 seconde

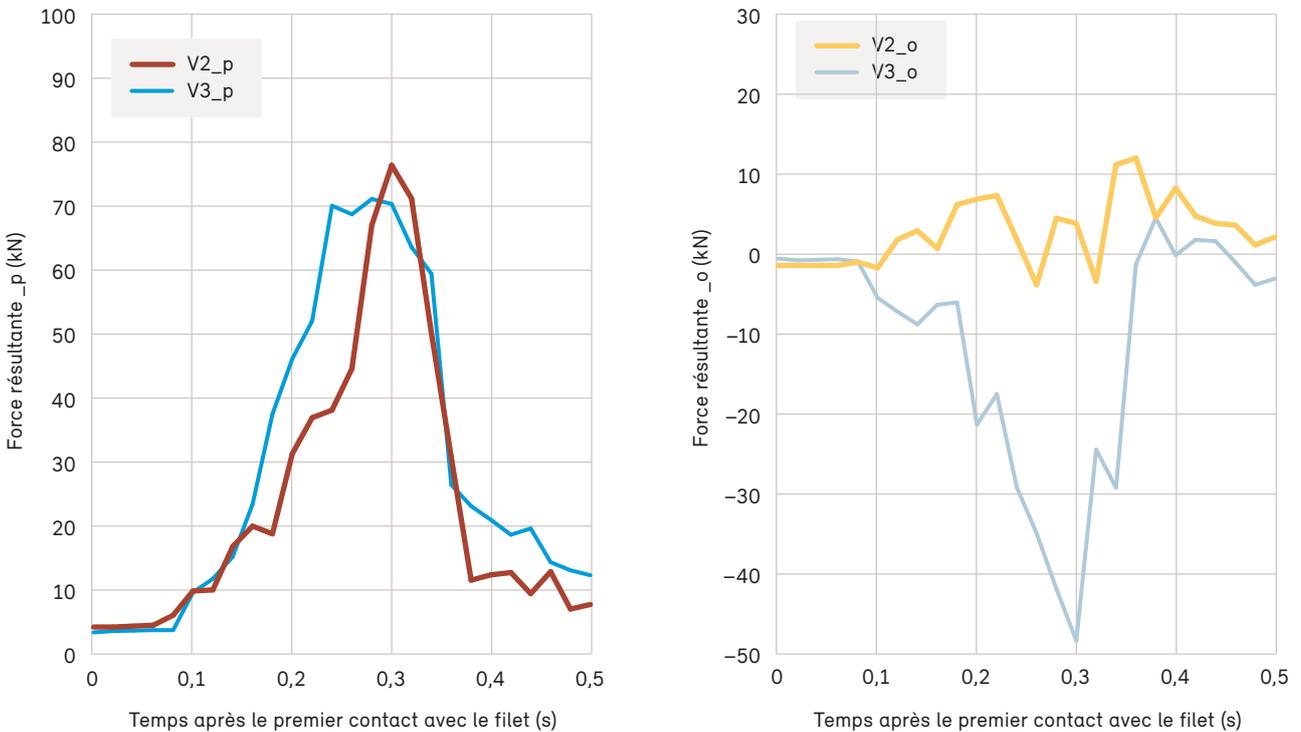


Tableau A4.1

Forces déterminantes subies par les câbles de retenue (exemple)

	Z2	V2	Z3	Z4	V3	Z5
Forces maximales subies par les câbles de retenue	54 kN		57 kN	84 kN		29 kN
Forces résultantes aux ancrages		75 kN			86 kN	
Direction des forces résultantes		4°			34°	
Maximum dans la direction $_p$		77 kN			72 kN	
Maximum dans la direction $_o$		13 kN			48 kN	
Force déterminante $_p$		77 kN				
Force déterminante $_o$					48 kN	

En appliquant l'équation (2)

$$\beta = \arctan \frac{a \div 2}{\sqrt{(h-L \times \sin \varepsilon)^2 + (L \times \cos \varepsilon + f)^2}} \quad (2)$$

pour les valeurs $a = 10$ m, $L = 3,5$ m, $f = 0,7$ m et $h = 5$ m on obtient l'angle $\beta = 45,3^\circ$.

Les forces subies par les câbles de retenue sont mesurées aux cellules Z2 à Z5 (figure A4.4). Comme leur direction est parfois opposée, on ne peut pas en tirer directement la charge maximale exercée sur les ancrages. Pour calculer les forces maximales, on additionne vectoriellement les forces mesurées et on calcule en même temps la direction des résultantes.

Les forces résultantes et leur direction aux points d'ancrage V2 et V3 sont illustrées à la figure A4.5. Mais ces données ne sont pas encore suffisantes pour dimensionner les ancrages. Il faut aussi connaître les valeurs maximales dans la ligne des ancrages et perpendiculairement à celle-ci. Elles sont calculées en appliquant les équations ci-après.

Le calcul de la force maximale exercée au point d'ancrage V2 fournit deux valeurs maximales, l'une dans la direction $_o$ correspondant à la ligne des ancrages et l'autre dans la direction $_p$ perpendiculaire à celle-ci. Il en va de même pour le point d'ancrage V3 (figure A4.3).

Les valeurs maximales sont calculées en appliquant les équations (4) et (5).

$$V2_p = \cos \beta (Z2 + Z3) \text{ et } V3_p = \cos \beta (Z4 + Z5) \quad (4)$$

$$V2_o = \sin \beta (Z3 - Z2) \text{ et } V3_o = \sin \beta (Z5 - Z4) \quad (5)$$

Seuls ces résultats font apparaître les sollicitations effectives subies par les ancrages ainsi que leurs différences. Les valeurs déterminantes pour la suite des calculs sont les valeurs maximales dans les directions $_p$ et $_o$ (figure A4.6). Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau A4.1.

Charges statiques de remplacement

Les charges statiques de remplacement sont calculées à partir des forces déterminantes F_s dans la direction $_o$ de la ligne des ancrages et dans la direction $_p$ perpendiculaire à celle-ci, avec une majoration de 30 %. On obtient ainsi les valeurs E_s égales à 100 kN dans la direction $_p$ et 62 kN dans la direction $_o$.

Tableau A4.2

Forces déterminantes subies par les câbles de retenue et charge statique de remplacement

	V2	V3
Force déterminante $_p$	77 kN	
Force déterminante $_o$		48 kN
Charge statique de remplacement $_p$	100 kN	
Charge statique de remplacement $_o$		62 kN

Annexe A5 : Contenu d'un rapport d'évaluation

1 Introduction

- 1.1 Généralités
- 1.2 Exigences posées aux documents
- 1.3 Exigences techniques prioritaires
- 1.4 Critères d'évaluation des filets

2 Documentation utilisée

3 Méthodes appliquées dans les évaluations

- 3.1 Forces déterminantes
- 3.2 Processus de freinage

4 Résultats relatifs aux divers critères

- 4.1 Critères prioritaires
 - Trajectoires des projectiles ; processus de freinage ; ralentissement maximal et forces maximales ; hauteur nominale et hauteur utile résiduelle ; forces déterminantes subies par les câbles ; calcul des forces exercées sur les ancrages ; haubanage intermédiaire ; treillis additionnel
- 4.2 Évaluation des filets
- 4.3 Évaluation de la documentation
 - 4.3.1 Documentation technique
 - 4.3.2 Instructions de montage
 - 4.3.3 Manuel de maintenance

5 Synthèse

Annexe A1 : Critères prioritaires d'évaluation des performances des filets

Annexe A2 : Critères d'évaluation des filets

Annexe A3 : Critères d'évaluation de la documentation

- A3.1 Documentation technique
- A3.2 Instructions de montage
- A3.3 Manuel de maintenance

Annexe B1 : Actions exercées sur les ancrages et les fondations

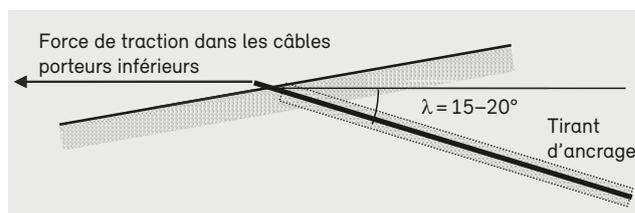
B1.1 Configuration des filets de protection sur le terrain

Les filets de protection doivent être montés sur le terrain conformément aux indications du fabricant. L'inclinaison des piliers (ε) varie en fonction de la déclivité du sol (ψ) et d'autres facteurs. Il est souvent possible d'évaluer la situation sur le terrain en effectuant une rotation de la configuration géométrique appliquée lors des essais d'homologation (figure B1.1). Par exemple, une rotation de 45° permet de décrire l'installation d'un filet de protection sur un terrain de déclivité $\psi = 30^\circ$. Les angles sur le terrain doivent être similaires aux conditions régnant lors des essais d'homologation. Parmi eux, il faut examiner de plus près l'angle α entre le plan des piliers et le plan des câbles de retenue. Il devrait avoir approximativement ($\pm 10^\circ$) la même grandeur que lors des essais d'homologation pour éviter de devoir opérer des conversions supplémentaires.

B1.2 Ancrage des câbles porteurs inférieurs

Les forces subies par les câbles porteurs inférieurs sont généralement plus ou moins horizontales, mais ces câbles peuvent rarement être ancrés horizontalement.

Figure B1.2
Configuration de l'ancrage des câbles porteurs inférieurs, vue en coupe



Les tirants d'ancrage destinés à reprendre les forces de traction sont installés la plupart du temps en formant un angle λ de $15\text{--}20^\circ$ avec l'horizontale (figure B1.2). Les forces résultant de cette déviation, de l'ordre de $25\text{--}35\%$ des forces subies par les câbles, doivent également être transmises dans le sol. On accordera une attention particulière aux exigences de la protection des ancrages contre la corrosion (éventuellement fondations en béton).

B1.3 Ancrage des câbles porteurs supérieurs

Les forces subies par les câbles porteurs supérieurs forment un angle δ avec l'horizontale. Un hauban latéral séparé, également oblique, est souvent posé pour fixer la

Figure B1.1

Représentation schématique de l'installation verticale et de filets de protection posés sur le terrain

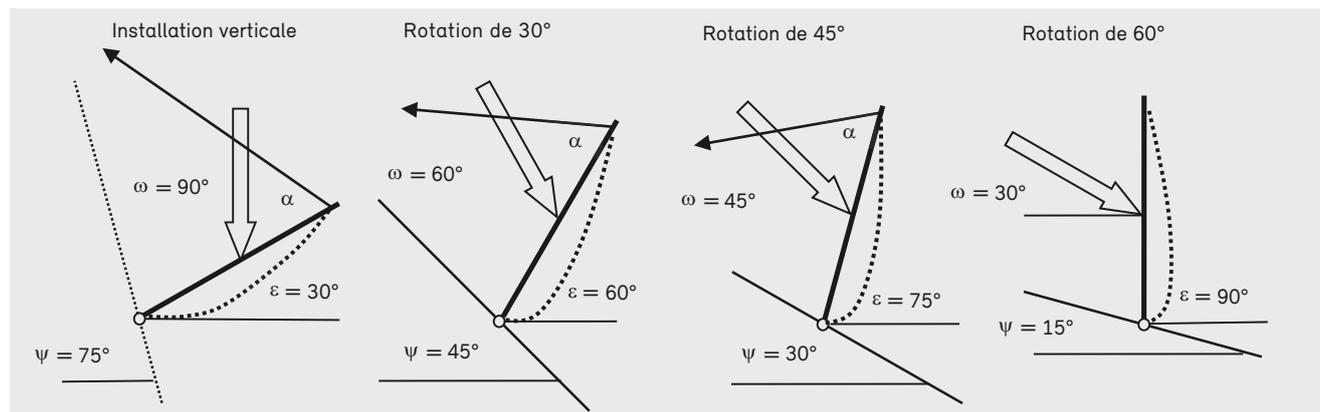


Figure B1.3
Configuration de l'ancrage des câbles porteurs supérieurs, vue en coupe

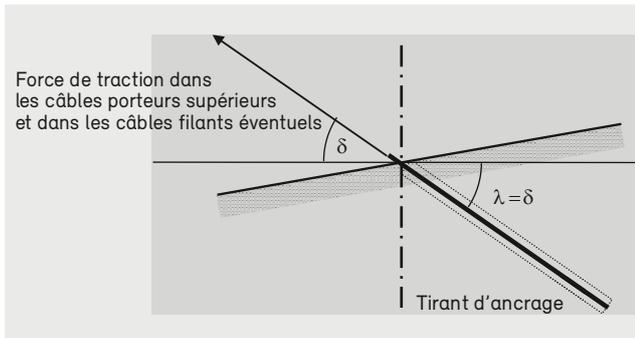
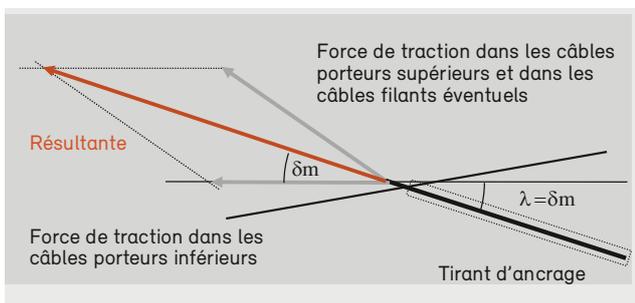


Figure B1.4
Configuration de l'ancrage des câbles porteurs inférieurs et des câbles porteurs supérieurs, vue en coupe



tête du pilier. Il forme généralement le même angle δ avec l'horizontale. Si les deux forces sont transmises dans un même tirant d'ancrage celui-ci formera autant que possible le même angle qu'elles avec l'horizontale (figure B1.3). Aucune force de déviation supplémentaire n'apparaît dans cette configuration.

Si par contre les forces subies par les câbles porteurs inférieurs et supérieurs sont transmises dans le même tirant d'ancrage, il faut les additionner vectoriellement et calculer la force résultante à partir des valeurs en direction horizontale et verticale. Cette force forme un angle moyen δ_m avec l'horizontale et le tirant d'ancrage devrait être posé sous ce même angle (figure B1.4).

Dans cet agencement, les ancrages subissent également des efforts tranchants dont il faut tenir compte. Leur ampleur ne peut pas être prévue d'une manière générale.

Les efforts tranchants apparaissent lorsque les câbles porteurs inférieurs et supérieurs subissent les forces maximales à différents moments. Ils doivent être déterminés dans cette configuration d'ancrage.

B1.4 Ancrage des câbles de retenue

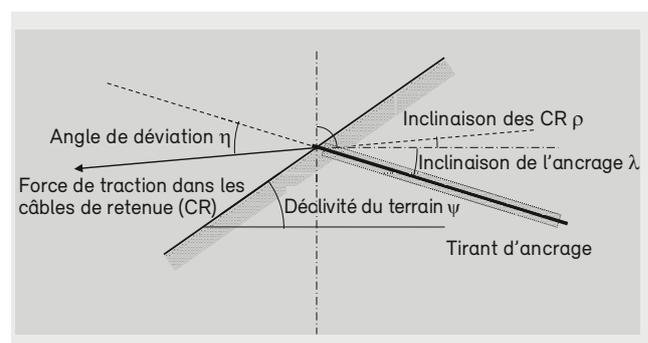
Deux valeurs maximales sont déterminantes pour établir la charge maximale exercée sur l'ancrage des câbles de retenue dans le plan de ces câbles : l'une dans la direction $_p$ perpendiculaire à la ligne des ancrages et l'autre dans la direction $_o$ correspondant à la ligne des ancrages (figure A4.3).

Mais les tirants d'ancrage ne peuvent pas être alignés sur ces forces. Ils ont généralement une inclinaison λ de l'ordre de 15–20°, c'est pourquoi il y a toujours un angle de déviation η à l'ancrage des câbles de retenue. Sa grandeur dépend principalement de l'inclinaison des tirants d'ancrage λ et de l'inclinaison des câbles de retenue ρ (figure B1.5). L'angle de déviation déterminant η est calculé comme suit :

$$\eta = \rho + \lambda \quad (7)$$

Notons que l'angle de déviation η peut être réduit en choisissant judicieusement l'inclinaison des piliers ε et celle des ancrages λ .

Figure B1.5
Configuration de l'ancrage des câbles de retenue, vue en coupe



Du fait de cet angle de déviation η , les tirants d'ancrage des câbles de retenue sont encore sollicités dans une

troisième direction. Les forces déterminantes orientées dans la direction $\perp p$ perpendiculaire à la ligne des ancrages (figure A4.3) sollicitent les tirants dans la direction de leur axe et perpendiculairement à celle-ci. Ces efforts tranchants doivent aussi être pris en compte dans le dimensionnement des ancrages.

B1.5 Actions sur les fondations

Si les forces exercées sur les fondations des piliers ne peuvent pas être mesurées lors des essais d'homologation, le dimensionnement de ces fondations considérera, d'une part, les forces de compression exercées par les piliers et, d'autre part, les forces de cisaillement consécutives à la déviation des câbles porteurs inférieurs.

Il est assez difficile de déterminer les forces de compression exercées par les piliers à partir des forces subies par les câbles de retenue. On devrait considérer l'angle entre le plan des câbles de retenue et le plan des piliers, mais il varie pendant la mise en charge du filet car les câbles de retenue s'allongent et les piliers s'infléchissent. En règle générale, les forces de compression exercées par les piliers ne sont pas examinées lors du dimensionnement des fondations.

Seules les forces de cisaillement sont donc déterminantes pour dimensionner les fondations. Elles peuvent être calculées à partir de l'angle de déviation des câbles porteurs inférieurs. L'examen de diverses images vidéo révèle généralement qu'il atteint un maximum d'environ 45° aux piliers de la section percutée et d'environ 20° aux piliers des sections de bordure lorsque le projectile est à son point le plus bas (figure B1.6).

On calcule à partir de ces chiffres un facteur valant $\sin 45^\circ + \sin 20^\circ$ qui permet de déterminer la force de cisaillement maximale en fonction de la force maximale subie par le câble porteur inférieur. Ce facteur est voisin de 1,0, si bien que la grandeur de la force de cisaillement peut être considérée comme égale à la grandeur de la force subie par le câble porteur inférieur. Toutefois, cette démarche néglige les forces de frottement. Celles-ci ne peuvent pas être prises en compte, car elles sont inconnues.

Figure B1.6

Position des câbles porteurs inférieurs lors de la charge maximale

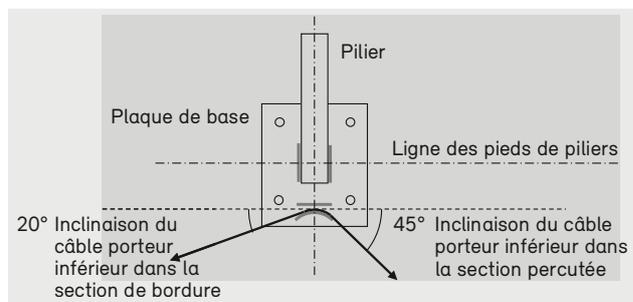
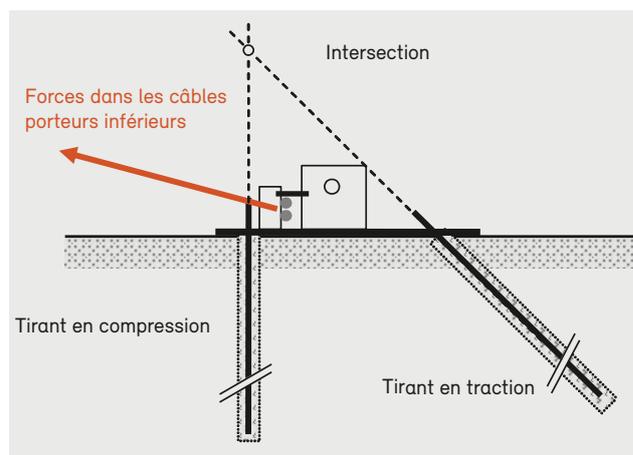


Figure B1.7

Position des câbles porteurs inférieurs lors de la sollicitation maximale



La force de cisaillement maximale peut être considérée comme approximativement parallèle au terrain. Dans certains cas particuliers, qui s'écartent de cet exemple général, la force de cisaillement subie par les fondations doit être déterminée séparément.

En terrain meuble, les charges ne peuvent pas être acheminées directement dans le sol. Elles doivent être transmises par des tirants d'ancrage en traction et en compression (micropieux). On utilise à cet effet des plaques de base en acier qui transmettent les forces subies par les piliers et par les câbles dans les micropieux. Pour des raisons de construction, le point d'application des charges exercées par les câbles porteurs inférieurs ne correspond pas à l'intersection des axes des micropieux (figure B1.7). Cela signifie qu'il faut transmettre

dans le sol non seulement des forces axiales (de traction et de compression), mais aussi des forces transversales (de cisaillement). Il est recommandé de répartir les forces de cisaillement entre les deux micropieux en jouant sur leur rigidité et sur l'exécution de la connexion entre les micropieux et la plaque de base. L'application d'une petite fondation en béton permet de répartir les forces de traction et de compression entre les micropieux en y générant des forces de cisaillement moindres (figure B1.7).

Les tirants d'ancrage en traction et en compression doivent toujours être agencés de manière à ce que l'intersection de leurs lignes d'action se trouve au-dessus des points d'introduction des forces subies par les câbles porteurs inférieurs et par le pilier, en s'efforçant de réduire au maximum l'espacement entre les tirants pour diminuer les forces de cisaillement qu'ils subissent.

Figure B1.8
Corrélation entre les forces de compression transversales et l'angle de déviation

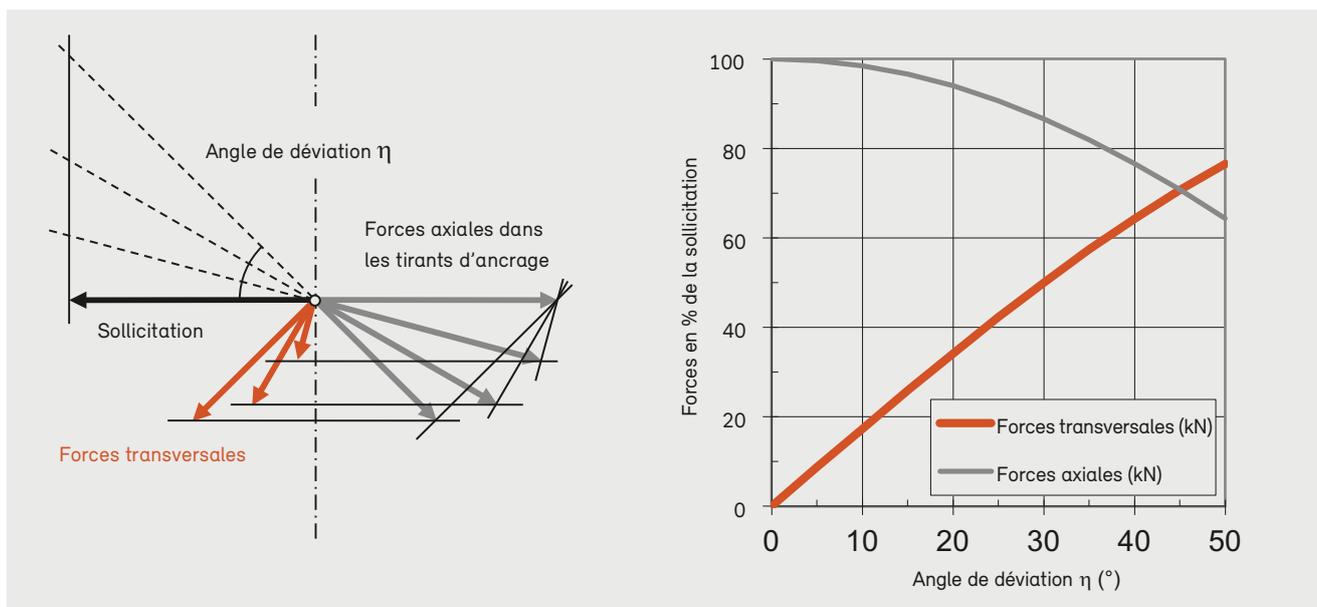
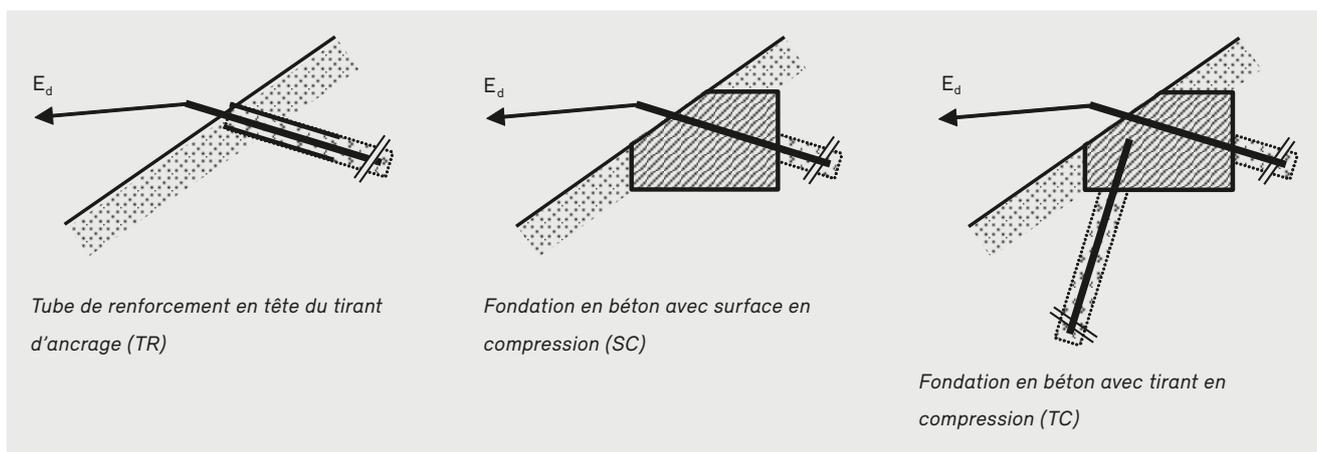


Figure B1.9
Mesures envisageables en cas de traction oblique exercée sur l'ancrage



B1.6 Influence de l'angle de déviation

L'angle de déviation η a souvent été évoqué aux points précédents et il y a maintenant lieu de le préciser. Lorsque les tirants d'ancrage ne sont pas disposés en direction de la sollicitation en traction mais en faisant un angle avec elle, il apparaît des forces de compression transversales ou des forces de cisaillement qu'il y a lieu de prendre en compte dans le dimensionnement des ancrages. On s'assurera qu'elles puissent être reprises par le terrain en les mettant en regard de la butée des terres. Elles peuvent atteindre une valeur relativement élevée selon l'angle de déviation (figure B1.8).

Ces forces ne peuvent être transmises dans le sol sans le déformer qu'en terrain rocheux ou très dur (moraine consolidée). Dans la roche tendre et dans les terrains meubles, des mesures supplémentaires sont nécessaires pour reprendre les forces de cisaillement. Elles peuvent notamment revêtir la forme suivante (figure B1.9 et tableau B1.1) :

- aucune mesure nécessaire (0)
- tube de renforcement en tête du tirant d'ancrage (TR)
- fondation en béton avec surface en compression (SC)
- fondation en béton avec tirant d'ancrage en compression (TC)

Le choix de la mesure à mettre en œuvre dépend de la grandeur des forces de compression transversales, de la nature du terrain et de l'angle de déviation. Le tableau B1.1 présente une synthèse sommaire des mesures envisageables. Les angles de déviation supérieurs à 40° ne sont pas recommandés (NR).

Tableau B.1.1

Mesures de renforcement en fonction de la nature du sous-sol

Nature du terrain	Angle de déviation η					
	<5°	10°	20°	30°	40°	>40°
Roche dure compacte	0	0	0	0	0	0
Roche fissurée, terrain sédimentaire dur, moraine dure	0	0	TR	SC	TC	NR
Terrain sédimentaire altéré, moraine altérée, gravier dense	0	TR	SC	SC/TC	TC	NR
Éboulis meuble, gravier meuble	0	SC	SC/TC	TC	NR	NR

Annexe B2 : Dimensionnement des ancrages et des fondations

B2.1 Généralités

La conception des ancrages requiert des connaissances fondamentales et de l'expérience en la matière, portant notamment sur l'évaluation du sol de fondation. Les connaissances requises concernent notamment :

- la constitution et les caractéristiques géotechniques des différentes couches de terrain meuble ;
- la fissuration et la stratification du sous-sol rocheux ;
- les conditions hydrogéologiques ;
- les courants électriques vagabonds.

Ces caractéristiques sont déterminantes pour dimensionner les ancrages et les fondations et pour les protéger contre la corrosion. Les dimensions des ancrages découlent des vérifications de la sécurité structurale et de l'aptitude au service. Sont nécessaires pour dimensionner chaque ancrage :

- la vérification de la sécurité structurale interne ;
- la vérification de la sécurité structurale externe ;
- la vérification de l'aptitude au service.

B2.2 Valeurs de calcul

Actions

La valeur de calcul E_d de la sollicitation est déterminée comme suit à partir de la charge statique de remplacement E_s et du facteur de charge γ_F :

$$E_d = E_s \times \gamma_F \quad (8)$$

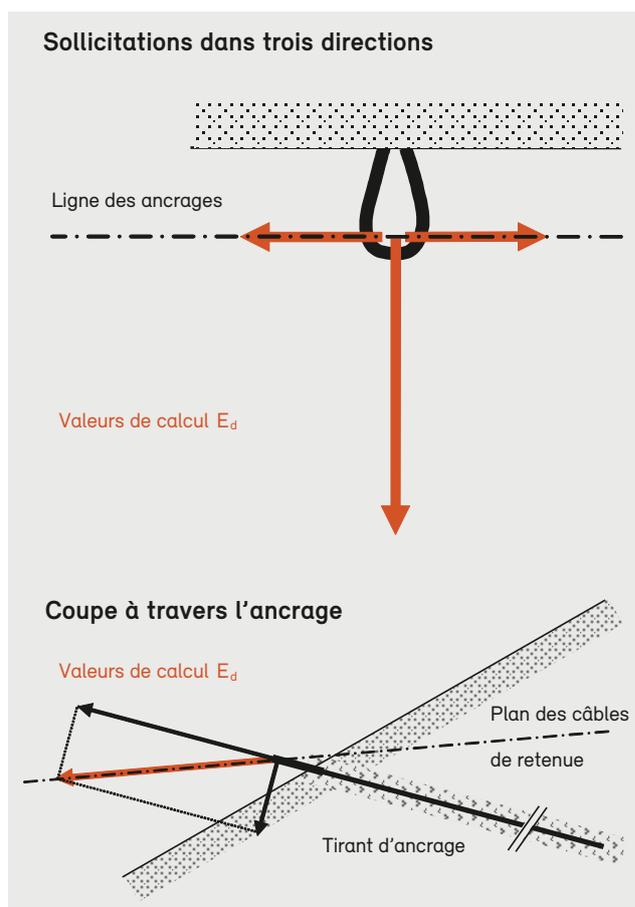
un facteur de charge $\gamma_F = 1,15$ étant appliqué ici.

Les valeurs de calcul doivent être déterminées dans toutes les directions de l'action. Le fabricant d'un filet de protection fournit les données de base concernant les charges statiques de remplacement dans chaque direction. Des forces horizontales transversales par rapport à

la direction des ancrages (coïncidant avec la ligne des ancrages) apparaissent aussi en particulier aux ancrages des câbles de retenue (figure B2.1). Cela signifie qu'il faut déterminer une valeur de calcul dans la direction des ancrages et deux perpendiculairement à ceux-ci.

Figure B2.1

Sollicitation de l'ancrage des câbles de retenue



Résistance ultime

La valeur de calcul R_d de la résistance ultime de l'élément considéré est établie à partir de sa résistance ultime R_k et de son coefficient de résistance γ_M :

$$R_d = R_k / \gamma_M \quad (9)$$

un coefficient de résistance $\gamma_M = 1,35$ étant appliqué ici.

La valeur caractéristique R_k d'un tirant d'ancrage correspond à la valeur la plus faible entre ses résistances ultimes interne et externe.

La résistance ultime interne R_{ik} d'un tirant d'ancrage est déterminée par la section d'acier A et par la qualité d'acier f_{sk} (limite d'écoulement). Elle vaut :

$$R_{ik} = A \times f_{sk} \tag{10}$$

La résistance ultime externe d'un tirant d'ancrage est déterminée en procédant à des essais d'arrachement. Elle correspond à la force à partir de laquelle le déplacement du corps d'ancrage n'est plus réversible, et qu'une rupture entre celui-ci et le sol de fondation intervient après un certain temps. On peut utiliser le tableau B2.1 pour estimer sommairement la résistance ultime externe pour les diamètres de forages usuels de 90 à 110 mm.

Tableau B2.1
Ordre de grandeur de résistances ultimes externes caractéristiques

Nature du terrain	Valeurs limites de la résistance ultime externe
Roche dure compacte	> 90 kN/m
Roche fissurée, terrain sédimentaire dur, moraine dure	> 50 kN/m et < 90 kN/m
Terrain sédimentaire altéré, moraine altérée, gravier dense	> 25 kN/m et < 50 kN/m
Éboulis meuble, gravier meuble	< 25 kN/m

La valeur caractéristique R_{ak} de la résistance ultime externe dépend du nombre d'essais. Si un tirant d'ancrage a été soumis à quatre essais d'arrachement ou plus, on assigne à la valeur caractéristique R_{ak} de la résistance ultime externe la valeur moyenne des charges de rupture diminuée de l'écart type.

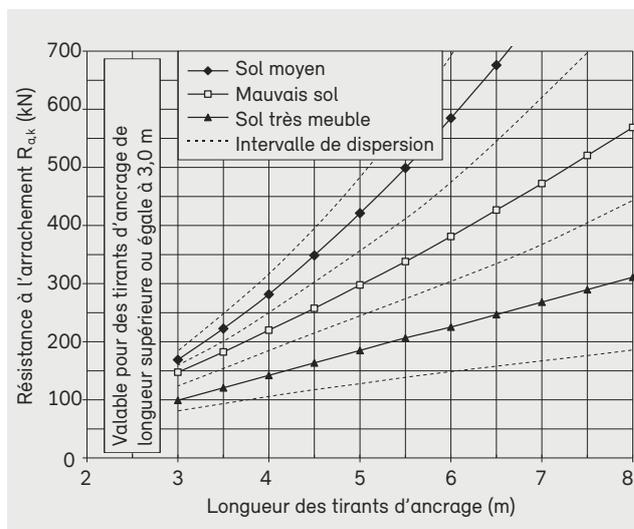
Si trois essais d'arrachement ont été réalisés, on assigne à la valeur caractéristique R_{ak} de la résistance ultime externe la valeur R_a la plus faible obtenue.

Si seuls un ou deux essais d'arrachement ont été réalisés dans chaque zone du terrain, on assigne à la valeur caractéristique R_{ak} de la résistance ultime externe la valeur R_a la plus faible obtenue diminuée de respectivement 40 % ou 20 % (tableau B2.2).

Tableau B2.2
Valeur caractéristique de la résistance ultime externe R_{ak} en fonction du nombre d'essais d'arrachement

Nombre d'essais	Valeur caractéristique R_{ak} de la résistance ultime externe	Coefficient de résistance γ_M
4	Valeur moyenne des quatre essais diminuée de l'écart type	1.35
3	Valeur la plus faible des trois essais	1.35
2	80 % de la valeur la plus faible	1.35
1	60 % de la valeur la plus faible	1.35
0	Valeur tirées du diagramme de la figure B2.2	1.50

Figure B2.2
Résistance caractéristique à l'arrachement R_{ak} (diagramme tiré de la directive technique « Construction d'ouvrages paravalanches dans la zone de décrochement », figure 42, page 95)



Lorsqu'on ne dispose d'aucune donnée provenant d'essais d'arrachement ou qu'aucun essai d'arrachement n'a été réalisé dans le cadre d'un projet de faible ampleur, la

valeur caractéristique de la résistance ultime est extraite du diagramme de la figure B2.2. On tire les valeurs devant être appliquées dans la moitié inférieure de l'intervalle de dispersion correspondant au sol concerné. Le coefficient de résistance γ_M sera en outre majoré comme suit :

$$\gamma_M = 1,5$$

Les sols sont classés comme suit :

Sol moyen

Sol compact comprenant des matériaux fins cohérents (p. ex. éboulis grossier avec parties de matériaux fins cohérents, sable graveleux sec).

Mauvais sol

Sol lâche comprenant des matériaux fins sans cohésion qui présente un angle de frottement faible (produits d'altération fins humides qui ne permettent qu'une imbrication faible entre le tirant et le sol), pierrier.

Sol très meuble

Sol très lâche comprenant de l'humus et des cavités.

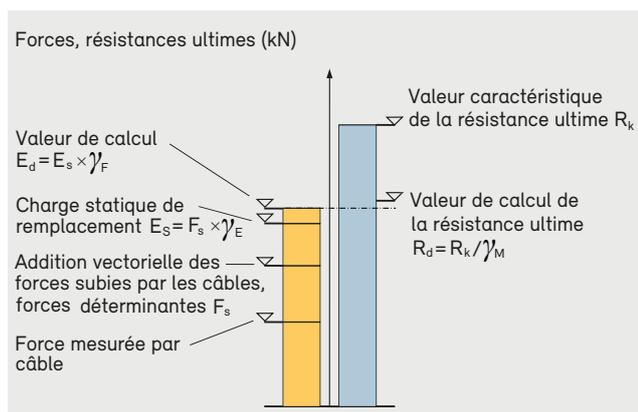
B2.3 Vérifications

Sécurité structurale

La sécurité structurale d'un tirant d'ancrage est considérée comme vérifiée si la valeur de calcul de l'action E_d est inférieure à la valeur de calcul de la résistance ultime R_d (figure B2.3) :

Figure B2.3

Valeurs de calcul et résistance ultime d'un tirant d'ancrage



$$E_d \leq R_d \quad (11)$$

Aptitude au service

Il faut tenir compte de l'emplacement des surfaces de rupture potentielles dans le sol lorsqu'on vérifie l'aptitude au service des ancrages de filets pare-pierres. Dans la roche, on ne traversera aucune discontinuité déjà sujette à un déplacement. Les déplacements seront empêchés en posant des ancrages spéciaux.

En terrain meuble, il faut estimer les déplacements éventuels du sol en appliquant des valeurs empiriques. On déterminera aussi l'influence de ces déplacements sur les forces susceptibles d'être subies par les ancrages. En principe, les ancrages ne doivent reprendre aucune force imputable à un déplacement du sol.

Annexe B3 : Essais sur des tirants-tests

B3.1 Essais d'arrachement

Les tirants d'ancrage sont habituellement testés en pratiquant des essais d'arrachement. Ils sont exécutés préalablement ou au début des travaux d'ancrage. Les valeurs mesurées sont appliquées pour déterminer la résistance ultime externe R_u des tirants d'ancrage dans une zone déterminée du terrain. D'autres essais seront ordonnés pendant le chantier s'il s'avère que le sol présente des caractéristiques inattendues. Les essais d'ancrage seront pratiqués conformément à la directive technique de l'OFEV et du SLF intitulée «Construction d'ouvrages paravalanches dans la zone de décrochement» (point 7.5.4.2).

Le nombre d'essais d'ancrage dépend :

- de la taille de la construction projetée ;
- des risques encourus en cas de défaillance de l'ancrage ;
- des conditions géotechniques.

On réalise en règle générale au moins trois essais d'ancrage par zone de terrain présentant des caractéristiques géotechniques similaires. Si le nombre d'essais est réduit à un ou deux par zone de terrain, la plus faible valeur mesurée est réduite de 40 % ou de 20 %, respectivement, pour déterminer la valeur caractéristique de la résistance ultime (annexe B2).

B3.2 Tests de traction

Comme, en terrain alpin raide, les tests de traction appliquant les forces d'épreuve requises par la norme 267/1 ne sont réalisables que dans une mesure limitée et à grands frais, l'OFEV les a élargis dans le cas des ouvrages paravalanches et pare-pierres. La procédure de test qu'il préconise permet d'obtenir des informations au sujet de la réserve de résistance de l'ancrage d'un ouvrage en appliquant des forces d'épreuve de faible ampleur. Cette procédure est décrite dans une notice¹⁰. La qualité de l'exécution est vérifiée en soumettant en-

viron 5 % de tous les tirants, mais au moins trois par zone de terrain présentant des caractéristiques géotechniques comparables, à des tests de traction conformes à la procédure susmentionnée. Les tirants choisis pour être testés seront répartis uniformément sur l'ensemble de l'ouvrage. Les tests de traction ont pour but de vérifier que les forces d'ancrage sont bien transmises dans le terrain encaissant.

¹⁰ OFEV 2014: Merkblatt zur Anwendung der erweiterten Zugprobe im Lawinen- und Steinschlagverbau (en allemand). Office fédéral de l'environnement, Berne. 39 p. Téléchargeable sous: www.bafu.admin.ch/mesures-techniques

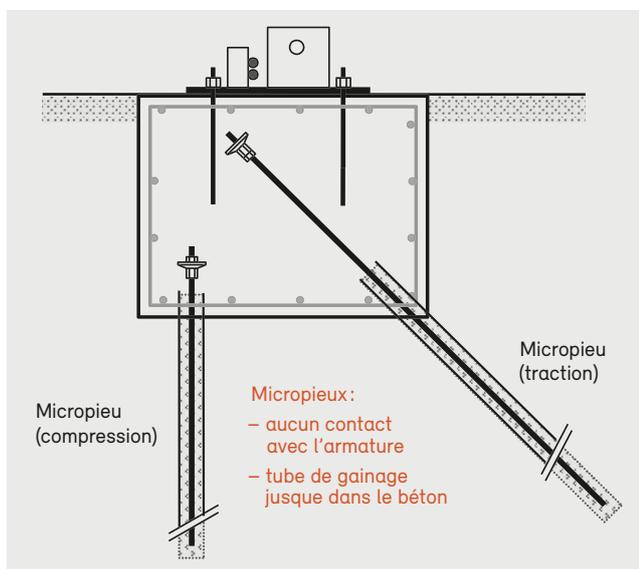
Annexe B4 : Protection contre la corrosion

B4.1 Exemple de fondation avec une protection anticorrosion de degré 2

On accordera une attention particulière à la protection de la transition entre le micropieu et la tête de l'ancrage. Avec le degré de protection 1, la tête des tirants doit être protégée par un revêtement anticorrosion. Avec le degré 2, toute la tête de l'ancrage doit être protégée contre la corrosion par une couche de béton d'au moins 50 mm d'épaisseur appliquée de chaque côté ou par une mesure équivalente.

Figure B4.1

Exemple de fondation avec une protection anticorrosion de degré 2



Annexe C : Glossaire

Objectif de protection

Niveau de sécurité visé par certaines entités assumant une responsabilité dans leur domaine de compétence. Dans la pratique, les objectifs de protection servent aussi de critères pour évaluer la nécessité de prendre des mesures permettant d'atteindre le niveau de sécurité visé.

Objectif d'une mesure

Degré de sécurité qu'il est prévu d'atteindre en appliquant une mesure donnée. C'est l'effet de l'ensemble des mesures mises en œuvre qui permet d'atteindre le niveau de sécurité visé.

Document d'évaluation européen (DEE)

European Assessment Document (EAD)

Document de l'Organisation européenne pour l'évaluation technique (EOTA) qui décrit les caractéristiques principales d'un produit de construction ou d'une famille de produits de construction qui doit être évalué pour pouvoir être commercialisé.

Organisme d'évaluation technique (OET)

Technical Assessment Body (TAB)

Organisme désigné en vertu de prescriptions nationales qui est habilité à délivrer des évaluations européennes pour différents produits de construction. Il doit être notifié, c'est-à-dire accepté par les états membres de l'Union européenne.

Évaluation technique européenne (ETE)

European Technical Assessment (ETA)

Instrument et document qui appréhende et consigne les performances d'un produit de construction. Il ne comprend aucune indication au sujet de l'utilisation possible de ce produit, suivant ainsi le principe de base de la déclaration des performances.

(Appliqué depuis l'entrée en vigueur du règlement européen sur les produits de construction, le 1^{er} juillet 2013)

Agrément technique européen (ATE)

European Technical Approval (ETA)

Document qui décrit le résultat de l'examen des performances d'un produit de construction. Toutes les caractéristiques déterminantes pour l'utilisation de ce produit

sont testées afin d'en vérifier l'aptitude au service ou à l'usage.

(Appliqué entre 1989 et le 30.6.2013, pendant la durée de validité de la directive 89/106/CEE).

Organisation européenne pour l'évaluation technique (EOTA)

European Organisation for Technical Assessment (EOTA) Organisation des organismes d'évaluation technique (OOET) au plan européen. L'EOTA élabore les documents d'évaluation européens et les adapte aux nouvelles connaissances.

Marquage CE

En arborant le marquage CE, le fabricant d'un produit ou celui qui le commercialise indique selon le règlement (CE) n° 765/2008 « que le produit est conforme aux exigences applicables de la législation communautaire d'harmonisation prévoyant son apposition. »

Label octroyant à une entreprise le libre accès au marché des pays membres de l'Union européenne pour un de ses produits. Pour cela, il faut que ce produit ait subi avec succès une évaluation technique européenne (ETE) ou une autre procédure de contrôle.

En vertu des accords bilatéraux passés avec l'UE, la Suisse est incluse dans le marché européen.

Le label CE n'a pas une signification littérale à l'heure actuelle. Il symbolise la libre circulation au sein de l'UE.

Accord de reconnaissance mutuelle (ARM)

Mutual Recognition Agreement (MRA)

Accord entre la Confédération suisse et la Communauté européenne relatif à la reconnaissance mutuelle en matière d'évaluation de la conformité.

Guide ETAG 027

Guideline for European Technical Approval of Falling Rock Protection Kits (édition de septembre 2012 modifiée en avril 2013).

Guide d'agrément technique européen de kits de protection contre les chutes de blocs rocheux (édition de février 2008 modifiée en avril 2013).

Ce guide décrit les exigences auxquelles les filets pare-pierres doivent satisfaire et les procédures à mettre en œuvre pour les tester.

Depuis le 4 juin 2013, ce document – dans sa version anglaise qui fait actuellement foi – n'est plus considéré comme un guide, mais comme un document d'évaluation européen.

Contrôle de la qualité en usine (CQU)

Contrôle de la production interne à une entreprise.

Procédure appliquée pour assurer une qualité constante dans la production d'un fabricant.

Organisme d'évaluation de la conformité (OE)

Organisme chargé de déterminer si un produit ou une famille de produits satisfait aux exigences contenues dans une spécification.

Niveau d'énergie maximal (MEL)

Maximum Energy Level.

Niveau d'énergie maximal qu'un filet pare-pierres est capable d'absorber, mesuré en kilojoules (kJ).

Niveau d'énergie de service (SEL)

Service Energy Level

Niveau d'énergie de service d'un filet pare-pierres, mesuré en kilojoules (kJ).

Il est défini comme étant égal au tiers du niveau d'énergie maximal.

Annexe D : Abréviations

ARM

Accord de reconnaissance mutuel

CQU

Contrôle de la qualité en usine

EAD

Document d'évaluation européen

Empa

Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherche

EOTA

Organisation européenne pour l'évaluation technique

ETA (ETE, ATE)

European Technical Assessment (évaluation technique européenne, ETE, désignation actuelle)

European Technical Approval (Agrément technique européen, ATE, ancienne désignation)

ETAG

Guide d'agrément technique européen

MEL

Niveau d'énergie maximal

OEC

Organisme d'évaluation de la conformité

OET

Organisation d'évaluation technique

OFEFP

Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (aujourd'hui OFEV)

OFEV

Office fédéral de l'environnement

SEL

Niveau d'énergie de service

sia

Société suisse des ingénieurs et des architectes

WSL

Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage

a [m] Espacement entre piliers	R_k [kN] Valeur caractéristique de la résistance ultime
b [m] Espacement entre un pilier de bordure et un ancrage latéral	w [m] Distance de freinage du projectile dans le filet
f [m] Distance horizontale entre un pied de pilier et un ancrage amont	α [°] Différence d'inclinaison entre un pilier et un câble de retenue
F_s [kN] Charge déterminante subie par les câbles	β [°] Moitié de l'angle de divergence entre deux câbles de retenue
f_{sk} [N/mm ²] Limite d'écoulement des ancrages en acier	δ [°] Inclinaison des câbles porteurs supérieurs par rapport aux ancrages latéraux
h [m] Différence d'altitude entre un pied de pilier et un ancrage amont	δ_m [°] Inclinaison calculée (y c. pour les câbles filants) par rapport aux ancrages latéraux
h_N [m] Hauteur nominale du filet de protection (selon le guide ETAG 027)	
h_R [m] Hauteur résiduelle du filet de protection (selon le guide ETAG 027)	
E_d [kN] Valeur de calcul des actions	
E_s [kN] Charge statique de remplacement	
L [m] Longueur du pilier	
R_{ak} [kN] Résistance ultime externe	
R_d [kN] Valeur de calcul de la résistance ultime	
R_{ik} [kN] Résistance ultime interne	