



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Office fédéral des routes OFROU

DIRECTIVE
TIRANTS D'ANCRAGE

Edition 2022 V3.13
ASTRA 12005

Impressum

Auteurs

Alain Jeanneret	OFROU N-SSI, président
Willy Schuler	OFROU N-SSI
Peter Matt	Ingénieur-conseil
Ueli von Matt	Bureau d'ingénieurs (élaboration)

Sous-groupe tremblements de terre

Thomas Wenk	Bureau d'ingénieurs
Dr. Jan Laue	EPFZ, IGT
Ueli von Matt	Bureau d'ingénieurs (élaboration)

Traduction

Maurice Hennemann	la version originale en allemand fait foi
Services linguistiques	OFROU N-SSI
	OFROU (traduction partielle et révision intégrale de la version 3.13)

Éditeur

Office fédéral des routes OFROU
Division Réseaux routiers N
Standards et sécurité de l'infrastructure SSI
3003 Berne

Diffusion

La directive est téléchargeable gratuitement sur le site www.ofrou.admin.ch.

© ASTRA 2022

Reproduction à usage non commercial autorisée avec indication de la source

Avant-propos

La présente révision de la directive *Tirants d'ancrage* publiée par l'OFROU en 1999 est justifiée à la fois pour des raisons de forme et de fond.

Initialement limitée au 31 décembre 2004, la validité de la directive avait été prolongée au 31 décembre 2006 par courrier du 12 juillet 2005 adressé aux cantons. La directive révisée exigeait une adaptation aux nouvelles normes de la SIA (*Swisscodes* et *Swissconditions*), laquelle impliquait l'introduction de dispositions supplémentaires pour différentes raisons. La norme SIA 267:2013 *Géotechnique* est plus concise que la recommandation SIA V191:1995 *Tirants d'ancrage précontraints*. La norme SIA 267:2013 porte essentiellement sur la sécurité lors du dimensionnement des structures porteuses si bien que les thèmes importants que sont la surveillance et l'entretien des ouvrages y sont plutôt traités de manière générale. L'OFROU a jugé nécessaire de préciser comment améliorer les possibilités de surveillance, d'en abaisser les coûts et de diminuer les frais d'entretien. Par ailleurs, la directive révisée comble les lacunes concernant la responsabilité en raison des défauts que les *Swissconditions* SIA 118/267:2019 présentent sous l'angle du maître d'ouvrage.

Ces derniers temps, les tirants passifs sont de plus en plus souvent utilisés pour assurer la sécurité permanente des ouvrages. Or, la pratique montre que les représentants du maître d'ouvrage et les auteurs des études de projet ont souvent des doutes sur la différence de comportement entre tirants passifs et tirants précontraints. La directive révisée a donc été complétée par des précisions sur les tirants passifs.

Dirigée par un canton et soutenue par l'OFROU, une enquête consacrée à l'effet des séismes sur les ouvrages ancrés a fait ressortir la nécessité de compléter la norme SIA 267:2013. La directive révisée inclut donc les indications et précisions élaborées par un groupe de travail *ad hoc* sur le dimensionnement aux séismes des ouvrages ancrés,

La directive révisée évoque en outre la réaction alcalis-granulats du béton (RAG) afin de sensibiliser les responsables de projet à ce phénomène particulièrement important pour les ouvrages de soutènement. Les projets de recherche sur le sujet se poursuivent et l'OFROU en communiquera les résultats en temps utile.

L'édition 2022 de la directive *Tirants d'ancrage* actualisée et étendue rendra les ouvrages ancrés encore plus sûrs et plus durables, et cela sans coûts supplémentaires notables.

Office fédéral des routes

Jürg Röthlisberger
Directeur

Table des matières

	Impressum	2
	Avant-propos	3
0	Introduction	7
0.1	Structure de la directive	7
0.2	Entrée en vigueur et modifications	7
1	PARTIE 1 Utilisation de tirants précontraints	8
1.1	Champ d'application et but	8
1.2	Principes	8
1.3	Conditions techniques	8
1.4	Précisions et compléments apportés au chiffre 10 de la norme SIA 267 [9]	8
1.4.1	Construction et protection anticorrosion	8
1.4.2	Exécution	9
1.4.3	Tirants pourvus d'une protection anticorrosion poussée	9
1.4.4	Protection anticorrosion limitée (tirant dont la durée d'utilisation est inférieure à 2 ans) ..	9
1.4.5	Surveillance	10
1.4.6	Responsabilité en raison des défauts	10
2	PARTIE 2 Utilisation de tirants passifs	11
2.1	Champ d'application et but	11
2.2	Principes	11
2.3	Conditions techniques	11
2.4	Précisions et compléments au chiffre 11 de la norme SIA 267 [9]	11
2.4.1	Concept d'ancrage et dimensionnement	12
2.4.2	Protection anticorrosion	12
2.4.3	Exécution et essais	12
2.4.4	Surveillance	13
2.4.5	Responsabilité en raison des défauts	13
3	PARTIE 3 Entretien des ouvrages ancrés	14
3.1	Champ d'application et but	14
3.2	Principes	14
3.3	Compléments spécifiques aux tirants	14
3.3.1	Généralités	14
3.3.2	Ouvrages ancrés avec des tirants précontraints	14
3.3.3	Ouvrages ancrés avec des tirants passifs	15
4	PARTIE 4 Aspects particuliers des ouvrages ancrés	16
4.1	Ouvrages ancrés en cas de séisme	16
4.1.1	Champ d'application et but	16
4.1.2	Principes	16
4.1.3	Vérification sismique des nouveaux ouvrages ancrés	16
4.1.4	Vérification sismique des ouvrages ancrés existants	18
4.2	Réaction alcalis-granulats (RAG)	18
	Annexes	19
	Bibliographie	41
	Liste des modifications	42

0 Introduction

0.1 Structure de la directive

PARTIE 1 Utilisation de tirants précontraints

Elle traite l'utilisation des tirants précontraints pour les nouveaux ouvrages ou lors du renforcement d'ouvrages existants. Elle correspond à la partie I de la directive de 1999 et a été complétée et adaptée aux nouvelles normes.

PARTIE 2 Utilisation de tirants passifs

Elle traite l'utilisation des tirants passifs pour les nouveaux ouvrages ou lors du renforcement d'ouvrages existants. Cette partie est nouvelle. Dans la pratique, les différences de comportement entre les tirants passifs et les tirants précontraints étaient peu claires. L'annexe I commente la partie 2.

PARTIE 3 Entretien des ouvrages ancrés

Elle traite l'entretien d'ouvrages ancrés au moyen de tirants précontraints ou passifs, construits ou remis en état selon les normes et directives les plus récentes (à partir de 1995). L'entretien d'ouvrages ancrés anciens, traitée de manière exhaustive dans la partie II de la directive de 1999, fait désormais l'objet de l'annexe II. En effet, tous les ouvrages ancrés anciens n'ont pas encore été inspectés et remis en état selon la directive de 1999. L'annexe II est une version raccourcie et légèrement retravaillée de la partie II de la directive de 1999.

PARTIE 4 Aspects particuliers des ouvrages ancrés

Elle traite les aspects particuliers des ouvrages ancrés, à savoir l'effet des séismes et de la réaction alcalis-granulats du béton (RAG). Le traitement du problème des séismes est un complément nécessaire à la norme SIA 267 [9]. Le phénomène de la RAG est encore peu connu et n'est réglé dans aucune norme.

ANNEXES

Trois annexes complètent la directive :

- I Explications liées aux recommandations de la partie 3 Utilisation de tirants passifs
- II Entretien d'ouvrages ancrés anciens
- III Entretien des ouvrages ancrés – méthode

0.2 Entrée en vigueur et modifications

La présente directive entre en vigueur le 01.08.2007. La liste des modifications figure à la page 42.

1 PARTIE 1 Utilisation de tirants précontraints

1.1 Champ d'application et but

La partie 1 de la présente directive est contraignante pour tous les ouvrages ancrés des routes cofinancés par la Confédération. Elle entend contribuer à ce que tous les maîtres d'ouvrages responsables appliquent les mêmes critères d'utilisation des tirants précontraints.

1.2 Principes

L'utilisation de tirants précontraints se limite aux cas où elle présente des avantages par rapport à d'autres solutions.

On effectuera une comparaison des options pour évaluer les différentes solutions techniques. La convention d'utilisation, les bases de projet, ainsi qu'un plan de surveillance et d'entretien doivent être élaborés. En règle générale, on se fondera sur une durée d'utilisation de 100 ans pour les ouvrages ancrés.

Le résultat de la comparaison des options fera l'objet d'un rapport technique sur lequel le maître d'ouvrage et l'OFROU se baseront pour choisir, d'un commun accord, l'option dont l'étude sera poursuivie en vue de l'exécution.

1.3 Conditions techniques

Les études de projet, l'exécution, le contrôle et l'entretien des tirants précontraints se fonderont sur la norme SIA 267 [9], chiffre 10.

Les ouvrages ancrés seront dimensionnés selon les normes SIA 260 [5], SIA 261 [6], SIA 262 [7], SIA 263 [8] et SIA 267 [9].

Seuls sont autorisés les systèmes d'ancrage dont l'aptitude a été prouvée par un Agrément Technique Suisse (STA) 1) et une évaluation de la conformité. Les fournisseurs des ancrages et les entreprises de forage doivent disposer d'un système de gestion de la qualité certifié ISO 9001 (2000).

1.4 Précisions et compléments apportés au chiffre 10 de la norme SIA 267 [9]

Tous les paragraphes correspondant aux explications de la norme SIA 267 [9] sont indiqués entre parenthèses dans le cadre des présentes précisions.

1.4.1 Construction et protection anticorrosion

Les tirants pour lesquels des pertes de précontrainte sont à craindre, allant jusqu'à des valeurs inférieures à la force d'ancrage minimale nécessaire, seront conçus de manière à permettre une remise en tension (10.5.1.2).

Les tirants placés dans des zones de glissement ou des roches gonflantes doivent pouvoir être détendus d'au moins 100 mm (10.5.1.2).

Les tirants précontraints dont la durée d'utilisation dépasse deux ans présenteront une protection anticorrosion poussée.

¹⁾ STA = Swiss Technical Approval

1.4.2 Exécution

Chaque tirant sera équipé d'un dispositif de réinjection multiple (10.6.4.4).

Le délai d'attente entre la dernière injection et l'essai de traction tiendra compte du temps prévu entre l'injection et les épreuves de mise en tension des tirants de l'ouvrage. En règle générale, il sera d'au moins 7 jours, mais d'au moins 10 jours dans les terrains argileux. Le programme des travaux réservera suffisamment de temps pour la réalisation des tirants d'essai, appuis compris, ainsi que pour l'exécution et l'évaluation des essais de traction (10.7.2).

Après la mise en place de chaque tirant, on en déterminera la force de blocage effective en décollant sa tête. Cette règle s'applique aussi aux tirants de mesure (contrôle de la cellule de mesure) (10.6.4.6).

Si un tirant bloqué au moyen de clavettes doit être à nouveau détendu, par exemple pour améliorer la protection anticorrosion derrière la tête, on veillera à ce que le blocage ne se fasse pas au même endroit des armatures de traction lors de la remise en tension. Un second blocage est uniquement admissible si la nouvelle morsure des clavettes débute au moins 15 mm avant l'ancienne (côté terre) ou si elle est placée tout entière après la première (vers l'extérieur).

1.4.3 Tirants pourvus d'une protection anticorrosion poussée

La résistance électrique I de tous les tirants munis d'une protection anticorrosion poussée doit être mesurée pendant les phases de construction ci-après, et consignée avec les valeurs mesurées (10.7.4.1) :

- A après l'injection primaire
- B après chaque réinjection
- C avant l'épreuve de mise en tension
- D après l'épreuve de mise en tension, tirant détendu
- E après la mise en tension à P_0
- F après la mise en tension à P_0 et après injection de la tête d'ancrage
- G après le raccord du câble à l'appareil de mesure (pour les tirants de mesure).

La mesure pour la phase F sera effectuée avec la direction des travaux (réception des travaux).

Remarque : si les mesures précédentes présentent des différences significatives, il est recommandé de répéter la mesure pour la phase F dans des conditions météorologiques favorables. Si les mesures sont exécutées correctement, on admettra le meilleur résultat.

Les tirants dont la tête est cachetée doivent être conçus de manière à permettre, à titre exceptionnel (après démolition du béton de cachetage), la détermination de la force d'ancrage existante par décollement de la tête au moyen d'un vérin de mise en tension (tête d'ancrage de contrôle ou dépassement suffisant des armatures de traction). Bien entendu, les têtes de tirants cachetées doivent, elles aussi, être isolées électriquement de l'ouvrage.

Si les têtes d'ancrage sont cachetées, on s'assurera que le recouvrement de béton est d'au moins 40 mm, que le béton de cachetage présente une bonne étanchéité, que le retrait est minimal et l'adhérence parfaite avec le béton de la structure porteuse.

1.4.4 Protection anticorrosion limitée (tirant dont la durée d'utilisation est inférieure à 2 ans)

L'armature de traction sera enrobée d'au moins 20 mm de coulis de ciment dans la zone de la longueur de scellement. Le respect de cette exigence sera assuré au moyen d'écarteurs. (10.6.3.3)

L'armature de traction en acier sera protégée sur sa longueur libre et jusque contre l'arrière de la tête du tirant au moyen d'une gaine synthétique remplie d'une masse anticorrosion dont la plasticité est garantie. (10.6.3.3)

Dans la zone de la tête du tirant, l'armature de traction en acier, les pièces d'ancrage et la plaque d'appui seront protégées avec un composé de protection anticorrosion ayant une bonne adhérence, résistant à la température et à l'eau. (10.6.3.3)

1.4.5 Surveillance

Tous les ouvrages ancrés seront équipés de tirants de mesure. Le nombre des tirants de mesure sera au minimum 5 % de l'ensemble des tirants. Des trois tirants de mesure ou de contrôle exigés au minimum par élément d'ouvrage (10.7.5.4), deux au moins seront des tirants de mesure.

Chaque ouvrage ancré sera équipé de dispositifs qui en surveilleront les déformations et fourniront des informations concluantes sur son comportement (10.7.5.1).

1.4.6 Responsabilité en raison des défauts

La responsabilité en raison des défauts des tirants réalisés sera réglée dans le contrat d'entreprise.

Résistance du tirant

La résistance à atteindre par zone de terrain, respectivement la force de blocage admise, sera convenue sur la base d'essais de traction représentatifs (10.7.2). On définira la méthode utilisée pour déterminer la moins-value pour les tirants ayant une capacité portante insuffisante. Si des ancrages complémentaires sont nécessaires pour assurer la résistance conforme aux normes, il faudra en déterminer la rémunération.

Protection anticorrosion

Le nombre des tirants dont la résistance électrique, lors de la réception, peut être inférieure à la valeur limite $R_I = 0,1 \text{ M}\Omega$ sera défini (10.7.4.2). Si le taux de défaillance autorisé est dépassé, l'entrepreneur devra poser des tirants de remplacement à ses frais. Le représentant du maître de l'ouvrage déterminera leur position en fonction de la sécurité structurale à long terme de l'ouvrage.

2 PARTIE 2 Utilisation de tirants passifs

2.1 Champ d'application et but

La partie 2 de la présente directive est contraignante pour tous les ouvrages ancrés des routes cofinancés par la Confédération. Elle doit contribuer à ce que tous les maîtres d'ouvrages responsables appliquent les mêmes critères d'utilisation des tirants passifs.

2.2 Principes

Le mode d'action, les essais et la surveillance des tirants passifs diffèrent de ceux des tirants précontraints. L'utilisation de tirants passifs se limite aux cas où elle présente des avantages par rapport aux tirants précontraints et à d'autres solutions techniques (annexe I).

L'évaluation des différentes solutions techniques se fondera sur une étude comparative. Les bases en seront la convention d'utilisation, les bases du projet, ainsi que des consignes de surveillance et un plan d'entretien. En règle générale, la durée d'utilisation admise pour les ouvrages ancrés sera de 100 ans.

Le résultat de la comparaison des options fera l'objet d'un rapport technique où les avantages par rapport à une solution comportant des tirants précontraints seront suffisamment étayés. Sur cette base, le maître d'ouvrage et l'OFROU choisiront, d'un commun accord, l'option dont l'étude sera poursuivie en vue de l'exécution.

2.3 Conditions techniques

L'étude de projet, l'exécution, le contrôle et l'entretien des tirants passifs à adhérence totale se baseront sur la norme SIA 267 [9], chiffre 11.

Les ouvrages ancrés seront dimensionnés selon les normes SIA 260 [5], SIA 261 [6], SIA 262 [7], SIA 263 [8] et SIA 267 [9].

Seuls sont admis les systèmes d'ancrage remplissant les exigences du chiffre 11 de la norme SIA 267 [9] et décrits de manière détaillée (11.6.1.2). Les fournisseurs des tirants et les entreprises de forage doivent disposer d'un système de gestion de la qualité certifié ISO 9001 (2015).

En principe, les tirants permanents doivent tous être en acier. Les ancrages permanents avec des tirants composés de matériaux composites renforcés à l'aide de fibres (par ex. fibres de verre ou autres matériaux) nécessitent des vérifications particulières de leur durabilité ainsi qu'une autorisation de l'OFROU.

Les tirants en aciers d'armature passive usuels ($f_{sk} < 750 \text{ N/mm}^2$) ne doivent présenter aucune longueur libre ni être utilisés comme tirants précontraints. Les tirants précontraints sont exclusivement soumis aux exigences applicables aux armatures de traction, à la protection anticorrosion et aux essais, qui figurent au ch. 10 de la norme SIA 267 [9].

Si des tirants passifs permanents à adhérence totale doivent être mis en tension pour réduire les déformations dans la zone de la tête d'ancrage, la force de mise en tension ne devra pas dépasser $0,2 F_{sk}$.

2.4 Précisions et compléments au chiffre 11 de la norme SIA 267 [9]

Tous les paragraphes correspondant aux explications de l'annexe I et de la norme SIA 267 [9], sont indiqués entre parenthèses dans le cadre des présentes précisions.

2.4.1 Concept d'ancrage et dimensionnement

Le choix du concept général d'ancrage tiendra compte de la différence d'effet entre tirants passifs et tirants précontraints (annexe I.1).

Si des tirants passifs et des tirants précontraints sont utilisés dans le même ouvrage, les vérifications de la sécurité structurale et de l'aptitude au service prendront en considération leurs effets spécifiques (annexe I.2).

En principe, les tirants passifs ne conviennent pas pour stabiliser les glissements de terrain actifs (annexe I.3).

La longueur requise des tirants passifs sera déterminée par la modélisation du terrain où les eaux (de versant) sont à leur niveau maximal. En cas d'ancrage de coteaux et de tranchées, on tiendra en principe toujours compte d'une certaine pression hydrostatique ou d'une certaine pression d'écoulement (annexe I.4).

On prendra en considération l'effet des charges variables sur la résistance à long terme des tirants (annexe I.5).

L'emploi de tirants lors de reprise en sous-œuvre (« parois clouées ») nécessite l'examen de toutes les phases critiques de construction (annexe I.6).

2.4.2 Protection anticorrosion

Les tirants permanents en acier sans alliage placés dans un sol meuble ou dans un massif rocheux fissuré exigent au minimum le degré de protection 2 (11.6.3). Le degré de protection 3 s'impose dans les zones soumises aux sels de déverglaçage, par ex. du côté aval d'une route. Le degré de protection 1 suffit uniquement lors de l'emploi d'aciers inoxydables du type Cr-Ni-Mo, par ex. les aciers 1.4462 ou 1.4429, mais un enrobage de mortier de 40 mm s'impose là où le degré de protection 3 est recommandé.

La résistance à la diffusion exigée pour la gaine en plastique (11.6.3.4) vaut également pour la zone de couplage des tirants ainsi que pour tous les raccords de gaine. Dans le cas de tirants pré injectés en usine, cette résistance à la diffusion sera vérifiée sur demande au moyen de mesures de la résistance électrique I (10.7.4). La valeur limite est $R_i \geq 0,1 \text{ M}\Omega$.

La gaine de protection synthétique doit pénétrer de 100 mm au moins dans le béton de la structure porteuse. Les mesures de construction visent à empêcher les têtes d'ancrage de toucher les armatures de la structure ancrée (pas de contact métallique, annexe I.7

2.4.3 Exécution et essais

Les tirants pré injectés en usine seront transportés, entreposés et mis en place avec soin afin de ne pas endommager leur gaine de protection synthétique.

Les forages tubés sont obligatoires pour les tirants permanents en terrain meuble et dans la roche fracturée. L'injection primaire sera réalisée avant et pendant le retrait du tubage. L'injection s'effectuera « de bas en haut » au moyen d'un tube d'injection. Pour les tirants en terrain meuble, elle pourra aussi se faire directement sous pression par le tubage.

Pour les tirants permanents, on procédera au moins à trois essais d'arrachement par zone de terrain présentant des caractéristiques géotechniques similaires (11.7.2.7).

Au moins 10% de tous les tirants permanents seront testés en traction pour vérifier la qualité de leur exécution (11.7.5.3).

On effectuera des mesures de la résistance électrique sur au moins 10 % de tous les tirants permanents mis en place et ayant un degré de protection 2 et 3. Ces mesures seront effectuées sur au moins 20 % des tirants dotés de couplages fabriqués sur le chantier. La résistance électrique doit être de $R_i \geq 0.1 \text{ M}\Omega$ après la mise en place du tirant et de

$R_{II} \geq 100 \Omega$ juste avant le bétonnage de la tête du tirant (armatures de la structure porteuse posée). R_I et R_{II} sont définies selon (10.7.4).

2.4.4 Surveillance

Des dispositifs installés pour chaque ouvrage ancré en surveilleront les déformations et fourniront des informations concluantes sur le comportement du terrain et de l'ouvrage. (11.7.7).

2.4.5 Responsabilité en raison des défauts

La responsabilité en raison des défauts des tirants réalisés sera réglée dans le contrat d'entreprise. Il faut en particulier définir combien d'ancrages testés peuvent ne pas remplir les exigences relatives à la protection anticorrosion décrites au ch. 2.4.3. Si le taux de défaillance autorisé est dépassé, l'entrepreneur devra procéder à des essais supplémentaires et mettre en œuvre des mesures de remplacement.

3 PARTIE 3 Entretien des ouvrages ancrés

3.1 Champ d'application et but

La partie 3 de la présente directive s'applique aux ouvrages ancrés dimensionnés et exécutés sur la base de la recommandation SIA V 191 [12], de la prénorme SIA 191/1:2001 ou de la norme SIA 267 [9]. Elle s'applique également aux ouvrages ancrés anciens vérifiés et remis en état selon la directive ASTRA 12005 *Tirants d'ancrage* (1999) [3]. La partie 3 entend ainsi contribuer à ce que les mêmes critères s'appliquent à l'entretien et la surveillance de tous les ouvrages ancrés des routes nationales.

Remarque : l'entretien des ouvrages ancrés anciens qui n'ont pas encore été vérifiés conformément à la directive ASTRA 12005 (1999) [3] est traité à l'annexe II.

3.2 Principes

On appliquera la directive ASTRA 12002 *Surveillance et entretien des ouvrages d'art des routes nationales* [1] lors de l'entretien des ouvrages ancrés.

Les inspections principales quinquennales, les inspections intermédiaires et les inspections spéciales dues à des événements particuliers constituent la base essentielle de l'entretien des ouvrages ancrés au sens de la présente directive.

3.3 Compléments spécifiques aux tirants

3.3.1 Généralités

L'évolution dans le temps des forces d'ancrage, des déformations et des déplacements de l'ouvrage sont les principaux indicateurs qui permettent d'évaluer le comportement des ouvrages ancrés. Outre une comparaison avec les seuils d'avertissement et d'alarme définis dans le plan de surveillance, les valeurs mesurées feront systématiquement l'objet d'une représentation graphique sur l'axe du temps. Dès qu'une tendance se dessine, il faudra en rechercher les causes et en évaluer l'impact potentiel sur l'ouvrage (pronostic).

On vérifiera également l'efficacité du fonctionnement des dispositifs de surveillance lors des inspections principales.

3.3.2 Ouvrages ancrés avec des tirants précontraints

Les forces d'ancrage des tirants de mesure seront mesurées au moins une fois par an afin d'identifier les variations significatives dans le temps.

En cas de variations sensibles des forces d'ancrage, on vérifiera l'efficacité du fonctionnement de l'appareil de mesure (batteries, etc.) et des cellules dynamométriques en décollant la tête d'ancrage avant de prendre d'autres mesures.

Lors des inspections principales, on mesurera également la résistance électrique R_i de toutes les têtes d'ancrage inspectées dotées d'une protection anticorrosion poussée. Outre les valeurs mesurées, les conditions météorologiques et la température seront consignées au procès-verbal.

Si la résistance électrique de quelques tirants tombe en dessous de la valeur limite $R_i = 0,1 \text{ M}\Omega$, cela n'implique pas qu'il faille absolument les remplacer. On effectuera d'abord des mesures complémentaires pour déterminer si R_i se situe durablement en dessous de la valeur limite (répétition des mesures dans des conditions météorologiques différentes, inspection et mesure effectuées directement sur la tête d'ancrage). Si l'abaissement de R_i se confirme, on fera particulièrement attention à ces tirants lors des inspections suivantes, par ex. en contrôlant leur tête à chaque inspection

principale. Si la R_i de nombreux tirants persiste en dessous de la valeur limite, on fera appel à des spécialistes pour en clarifier la cause et en évaluer les conséquences.

Les inspections principales servent aussi à évaluer les besoins d'entretien des têtes de tirant (protection des têtes de tirant, capots de protection des têtes, joints, fixations, drainage des niches des tirants de mesure, présence de végétation, etc.). On relèvera en outre les modifications d'état significatives telles que les venues d'eau ou la formation de fissures.

3.3.3 Ouvrages ancrés avec des tirants passifs

Comme les forces d'ancrage des tirants passifs à adhérence totale ne peuvent pas être surveillées, on mesurera les déformations et les déplacements de l'ouvrage au moins une fois entre deux inspections principales. Toute dérogation à cette règle sera justifiée dans le plan de surveillance.

Lors de chaque inspection d'ouvrages ancrés avec des tirants passifs, on examinera toutes les modifications d'état, notamment les formations de fissures, les venues d'eau, les obturations de drainages et les déformations locales.

4 PARTIE 4 Aspects particuliers des ouvrages ancrés

4.1 Ouvrages ancrés en cas de séisme

4.1.1 Champ d'application et but

La partie 4 est contraignante pour tous les ouvrages ancrés des routes cofinancés par la Confédération. Elle entend contribuer à ce que tous les maîtres d'ouvrages responsables utilisent les mêmes critères pour vérifier la sécurité sismique des ouvrages ancrés.

4.1.2 Principes

La sécurité structurale de chaque ouvrage ancré en cas de sollicitation sismique doit être vérifiée au sens du chiffre 16.1.5 de la norme SIA 261 [6] et en complément au chiffre 7.2.2 de la norme SIA 267 [9].

Remarque : selon le chiffre 7.2.3 de la norme SIA 267 [9], la vérification sismique n'est pas nécessaire pour les classes d'ouvrage I et II en zone 1 ni pour la classe d'ouvrage I en zone 2 ; en règle générale, elle n'est pas déterminante pour l'état-limite de type 2 car l'effet du séisme est compensé par un facteur de charge réduit à 1,0. Ce n'est toutefois pas le cas de l'état-limite de type 3.

Lors de la vérification de la sécurité sismique, on fera une distinction entre le dimensionnement de nouvelles constructions et la vérification d'ouvrages existants.

La procédure décrite au ch. 4.1.3 vaut pour le dimensionnement de nouveaux ouvrages ancrés. Elle contient plusieurs précisions et compléments au chiffre 7 de la norme SIA 267 [9].

Le ch. 4.1.4 contient les indications complémentaires nécessaires à la vérification des ouvrages existants.

4.1.3 Vérification sismique des nouveaux ouvrages ancrés

Vérification de l'état limite de type 2

On se fondera sur les hypothèses suivantes pour calculer la résistance requise lors du dimensionnement des ancrages :

Actions

Actions durables selon les normes SIA 261 [6] et SIA 267 [9] sur la base des indicateurs caractéristiques du sol, des grandeurs géométriques et du niveau moyen de la nappe phréatique (facteur de charge 1,0).

Actions sismiques

La formule de la force de remplacement horizontale selon le ch. 7.5.2.1 de la norme SIA 267 [9] est complétée par l'introduction du paramètre S qui est fonction des classes de terrain de fondation :

$$A_{h,d} = \gamma_f \cdot \frac{a_{gd} \cdot S}{g \cdot q_a} \cdot G_K$$

γ_f , a_{gd} et S selon le ch. 16.2 de la norme SIA 261 [6]
 $q_a = 1,0$ à $2,0$ (en fonction du déplacement admissible du mur, complément au tableau 2, ch. 7.5.2.1 de la norme SIA 267 [9], voir ci-dessous).

Le déplacement admissible du mur s_{adm} est déterminé à partir de l'allongement des tirants entre la force de traction effective P et la résistance des tirants. Pour le rapport entre le déplacement admissible du mur s_{adm} et la valeur q_a , on n'utilisera pas les valeurs globales du tableau 2 de la norme SIA 267 [9], mais les formules indiquées au tableau 7.1 de la norme EN 1998-5 [10].

$$q_a = 1,0 \quad \text{pour} \quad s_{adm} < 200 \cdot \frac{a_{gd}}{g} \cdot S \text{ (mm)}$$

$$q_a = 1,5 \quad \text{pour} \quad 200 \cdot \frac{a_{gd}}{g} \cdot S \leq s_{adm} < 300 \cdot \frac{a_{gd}}{g} \cdot S \text{ (mm)}$$

$$q_a = 2,0 \quad \text{pour} \quad s_{adm} \geq 300 \cdot \frac{a_{gd}}{g} \cdot S \text{ (mm)}$$

La poussée des terres et la pression hydrostatique, toutes deux augmentées de l'effet sismique, respectivement la résistance amoindrie du terrain (poussée des terres passive), peuvent être calculées avec les formules de Mononobe-Okabe (voir norme EN 1998-5, annexe E) [10].

Les hypothèses suivantes sont alors prises en considération :

- L'accélération verticale n'est pas appliquée des deux côtés avec une action défavorable (pas plausible). Du côté actif, elle est admise dirigée vers le bas et du côté passif égale à zéro. Une autre possibilité consiste à l'admettre dirigée vers le haut du côté passif et égale à zéro du côté actif.
- L'action dynamique de la pression interstitielle est prise en considération selon le ch. 7.3.2.3 (8) de la norme EN 1998-5 [10] et l'annexe E.6 (valable pour les sols ayant une perméabilité $k < 5 \cdot 10^{-4}$ m/s).
- L'effet des pressions additionnelles (= différence entre pressions accrues et pressions statiques) est admise égale à 0,6 H (H = hauteur du mur).
- *Résistances*
- Valeur de dimensionnement de la résistance du sol
- selon les ch. 7.5.3.1 et 5.3.5.5 ($\gamma_M = 1,4$) de la norme SIA 267 [9].
- *Valeur de dimensionnement de la résistance du tirant*

Pour la vérification de l'état limite type 2, la valeur de dimensionnement de la résistance du tirant peut être admise égale à $R_d = P_y = A_p \cdot f_{p,0.1k}$

Remarque : on effectuera le calcul par étapes, en commençant par $q_a = 1,0$ (mur rigide) et G_K selon ch. 7.4.2 de la norme SIA 267 [9]. Aucun examen complémentaire n'est nécessaire si cette vérification n'est pas déterminante (on se trouve du côté de la sécurité). En revanche, si la vérification est déterminante, on pourra utiliser une valeur plus élevée pour q_a en fonction du déplacement admissible du mur et déterminer la poussée des terres et la pression hydrostatique avec les formules de Mononobe-Okabe. Si les murs dépassent 10 m de hauteur, on pourra en outre effectuer une analyse monodimensionnelle de propagation des ondes en champ libre, selon la norme EN 1998-5 [10], annexe E.2, pour les ondes se propageant verticalement, afin d'obtenir une valeur moyenne de l'accélération horizontale du sol.

Vérification de l'état limite de type 3, stabilité globale

Données caractéristiques du sol X_d selon le ch. 5.3.2 de la norme SIA 267 [9] (valeurs de dimensionnement).

Effet sismique

Le facteur q_h vient compléter la formule de la force de remplacement horizontale applicable à l'état-limite de type 2 :

$$A_{h,d} = \gamma_f \cdot \frac{a_{gd} \cdot S}{g \cdot q_a \cdot q_h} \cdot G_K$$

Comme pour l'état-limite de type 2, q_a tient compte de la capacité du mur de soutènement à se déplacer :

$q_a = 1,0$ à $2,0$.

q_h tient compte du fait que l'accélération maximale n'agit pas simultanément sur tout le massif de glissement, si bien que q_h dépend de l'épaisseur et de l'expansion du massif et que sa valeur varie de $q_h = 1,0$ à $2,5$. La valeur 1,0 vaut pour les petits massifs de glissement qui correspondent à peu près au coin actif (poussée des terres). On utilisera

$q_h = 1,5$ pour calculer les cercles de glissement habituels, mais $q_h = 2,0$ à $2,5$ pour les massifs de glissement plus grands dont l'épaisseur est supérieure à 10 m et/ou l'expansion supérieure à 30 m.

Si un problème exige un examen plus poussé, l'accélération déterminante peut être déterminée par un calcul dynamique non linéaire de sa propagation horizontale et verticale dans le massif de glissement (phénomène ondulatoire).

Comme son effet se compense souvent globalement, on ne tiendra généralement pas compte de l'accélération verticale lors de cette vérification.

- *Valeur de dimensionnement de la résistance du tirant*

$R_d = P_y$ peut être admis pour les ancrages sollicités principalement en traction lors d'un séisme, si l'ouvrage ancré peut à la fois suivre et supporter les déplacements induits de la sorte et si les tirants sont assez longs et ancrés dans un terrain stable. Si les tirants sont seulement sollicités partiellement par une tension supplémentaire lors d'un séisme (axe du tirant fortement en biais par rapport à la direction de déplacement), on définira, au cas par cas, un coefficient de correction de la force d'ancrage γ_A approprié au sens du ch. 10.5.2.2.3 de la norme SIA 267 [9].

Remarque : le processus décrit ci-dessus ne tient pas compte du fait que la résistance au cisaillement du terrain est en général plus grande avec une haute vitesse de mise en charge qu'avec une charge statique, tant qu'aucune formation de pressions interstitielles n'est à craindre. Ceci ne vaut pas pour les sols décrits au ch. 7.3.3 de la norme SIA 267 [9], lesquels nécessitent des études particulières.

4.1.4 Vérification sismique des ouvrages ancrés existants

Il est permis d'utiliser la carte des lignes isométriques du Service sismologique suisse SED (SED-EPFZ 9/02 SSL) pour déterminer l'accélération du terrain a_{gd} , plutôt que le ch. 16.2.1.2 de la norme SIA 261 [6] et l'annexe F (voir documentation SIA D 0181, [12]).

On peut généralement déterminer l'accélération déterminante du sol au moyen d'analyses dynamiques non linéaires.

Si la vérification d'un ouvrage existant sans action sismique ne nécessite aucun renforcement de l'ouvrage, on pourra admettre une réduction de 20% de la force supplémentaire d'ancrage nécessaire pour assurer la résistance aux séismes (facteur de conformité 0,8). Si un renforcement s'avère nécessaire même sans tenir compte des effets sismiques, on dimensionnera le projet d'ancrage en ajoutant l'effet sismique à 100%.

4.2 Réaction alcalis-granulats (RAG)

Les ouvrages ancrés tels que les murs de soutènement sont souvent exposés à l'humidité sur leurs deux faces (terrain et intempéries). Depuis quelques années, on constate que certains de ces ouvrages ont subi des dégâts dus à la RAG.

Les règles et mesures à respecter pour les constructions nouvelles et existantes figurent dans la documentation ASTRA 82013 *Réaction alcalis-granulats (RAG)* [2].

Annexes

I	Explications liées aux recommandations de la PARTIE 2 Utilisation de tirants passifs	21
I.1	Différences principales entre tirants passifs et tirants précontraints.....	21
I.2	Évolution des forces et déplacement des ouvrages.....	21
I.3	Glissements actifs.....	22
I.4	Effets dus à la présence d'eaux de versant.....	22
I.5	Sollicitations alternées.....	22
I.6	Étapes de construction.....	22
I.7	Protection anticorrosion.....	22
II	Entretien d'ouvrages ancrés anciens	23
II.1	Généralités.....	23
II.1.1	Champ d'application.....	23
II.1.2	But.....	23
II.1.3	Principes.....	23
II.1.4	Procédure générale.....	23
II.2	Instructions détaillées concernant la procédure.....	26
II.2.1	Phase 1 : Inventaire et évaluation des ouvrages ancrés.....	26
II.2.2	Phase 2 : Vérification et remise en état des ouvrages.....	27
II.3	Projet d'intervention.....	33
II.4	Mise en œuvre des mesures et établissement du dossier de l'ouvrage.....	33
III	Entretien des ouvrages ancrés – méthode	34
III.1	Schéma d'évaluation des ouvrages de soutènement avec tirants précontraints – évaluation de l'ouvrage.....	36
III.2	Schéma d'évaluation des ouvrages avec tirants précontraints – recommandations concernant le traitement et les mesures.....	38

I Explications liées aux recommandations de la PARTIE 2 Utilisation de tirants passifs

I.1 Différences principales entre tirants passifs et tirants précontraints

Fig. I.1 : Tableau comparatif des tirants passifs et précontraints

	Tirants passifs	Tirants précontraints
Résistance	n'est pas vérifiée pour les tirants d'ouvrage (les tests de traction ne donnent aucun renseignement sur la résistance des tirants) ne peut pas être contrôlée pendant la durée d'utilisation	est vérifiée pour chaque tirant peut aussi être contrôlée pendant la durée d'utilisation
Force d'ancrage	se développe seulement lors des déplacements de l'ouvrage (passive) sa grandeur n'est pas connue et ne peut pas être mesurée	agit pleinement dès le blocage de la tête du tirant (active) peut être mesurée à l'aide des tirants de contrôle et de mesure durant la durée d'utilisation peut être réglée si nécessaire (détendre, retendre)
Déplacements de l'ouvrage	sont nécessaires pour le développement des forces d'ancrage se composent de l'allongement du tirant et des déformations de tout l'ouvrage	selon le cas, sont sensiblement réduits ou largement empêchés ou même dirigés contre le terrain
Surveillance	les tirants ne peuvent pas être surveillés individuellement le massif d'ancrage complet peut uniquement être surveillé en mesurant les déformations de l'ouvrage	les tirants de contrôle et de mesure peuvent être surveillés directement pendant toute leur durée d'utilisation (force et protection anticorrosion) la surveillance est complétée par une mesure des déformations de l'ouvrage

La règle générale qui résulte des différences énumérées ci-dessus est que les tirants passifs peuvent être mis en œuvre lorsqu'un tirant isolé ne fournit pas une contribution importante à la résistance de l'ouvrage et des différentes parties d'ouvrage (≤ 3 jusqu'à 5 %) et que les déplacements d'ouvrage inhérents au système sont tolérables.

I.2 Évolution des forces et déplacement des ouvrages

Pour les tirants précontraints, la force de blocage P_0 agit immédiatement après leur blocage. La force d'ancrage ne varie que peu par la suite, essentiellement après des déplacements de l'ouvrage (principe de la précontrainte). Pour développer leur force, les tirants passifs à adhérence totale nécessitent des déplacements entre leur longueur de scellement et leur tête. Suivant la nature du sol et la longueur du tirant, les déplacements de l'ouvrage qui en résultent peuvent être considérables. Si l'on utilise en même temps des tirants précontraints et des tirants passifs, on doit tenir compte de leurs différences de comportement force-déformation. Autrement dit : il faut vérifier la compatibilité entre les déformations, les forces d'ancrage et la résistance des tirants lors de l'examen de la sécurité structurale et de l'aptitude au service.

I.3 Glissements actifs

La résistance à l'arrachement des tirants passifs à adhérence totale se développe en même temps que la prise du mortier d'injection et la consolidation de la paroi du forage. Si des déplacements notables se produisent entre la zone d'ancrage et l'ouvrage ancré pendant la prise, la résistance du scellement dans le sol peut être durablement altérée, voire détruite en grande partie. Suivant la nature du terrain et la longueur du tirant, ce phénomène peut entraîner la rupture du scellement dans la zone d'ancrage avant même le montage de la tête d'ancrage.

I.4 Effets dus à la présence d'eaux de versant

Dans des conditions géométriques et géotechniques identiques, le cône de frottement critique sera généralement plus grand en présence d'un certain niveau d'eau (de versant) que dans un terrain sec. Pour les tirants passifs, seule la longueur de scellement située à l'arrière de la surface de glissement a un effet stabilisant. Par conséquent, les tirants dimensionnés pour des terrains secs peuvent devenir trop courts et donc inefficaces en cas d'apparition d'eaux de versant.

I.5 Sollicitations alternées

La force d'ancrage des tirants précontraints ne varie pas tant que la précontrainte est plus grande que les sollicitations extérieures. Par contre, les tirants passifs réagissent directement aux sollicitations externes. C'est la raison pour laquelle il faut tenir compte de l'effet des charges variables sur la résistance à long terme des tirants passifs, par analogie avec le ch. 9.5.3.5 de la norme SIA 267 [9].

I.6 Étapes de construction

Lorsque les parois clouées ne sont pas construites en damier par étapes, les différentes étapes de construction sont généralement déterminantes pour le dimensionnement des tirants. Au moment de la définition des phases des travaux, on évitera de solliciter trop tôt les ancrages déjà posés (perte de résistance, voir I.3).

I.7 Protection anticorrosion

Si la gaine de protection synthétique présente un défaut et que la tête d'ancrage est en contact électrique avec l'armature de l'ouvrage, un macroélément très efficace se forme avec ladite armature comme cathode. Cela peut induire une forte corrosion du tirant par piqûres à l'endroit du défaut.

II Entretien d'ouvrages ancrés anciens

II.1 Généralités

II.1.1 Champ d'application

L'annexe II s'applique aux ouvrages ancrés dont l'exécution n'a pas été réalisée selon les normes, directives et recommandations énumérées ci-dessous, et qui n'ont pas encore été vérifiés et remis en état selon la directive *Tirants d'ancrage* de l'OFROU, édition 1999 [3]:

- Directive ASTRA *Tirants d'ancrage permanents en terrain meuble et en rocher* (1993) [4].
- Recommandation SIA V 191 *Tirants d'ancrage précontraints* (1995) [12].
- Directive ASTRA *Tirants d'ancrage* (1999)[3].
- Norme SIA 267 *Géotechnique* (2003) [9]

II.1.2 But

Les ouvrages ancrés anciens doivent satisfaire à un niveau suffisant de sécurité structurale et d'aptitude au service au sens de la norme SIA 267 [9]. Si tel n'est pas le cas, ces exigences seront remplacées par des mesures de construction et/ou de surveillance.

Lors du choix de ces mesures, on tiendra compte de la durée d'utilisation résiduelle exigée pour l'ouvrage.

II.1.3 Principes

Chaque ouvrage ancré doit être suivi dans le cadre d'un plan de surveillance et d'entretien qui fournit des informations suffisantes sur l'état et l'efficacité du fonctionnement des tirants d'ancrage.

Si tel n'est pas le cas, on déterminera l'état des tirants et l'on établira un plan de surveillance et d'entretien sur la base d'une convention d'utilisation. Si des mesures de construction sont prises, on élaborera les bases du projet.

Si plusieurs ouvrages ancrés doivent être examinés, l'ordre dans lequel ils seront traités tiendra compte du potentiel de risque inhérent à chacun d'eux.

Les indications sur l'état de l'ouvrage ancré, sur les mesures prises et celles qui restent à prendre, seront saisies dans KUBA-DB.

II.1.4 Procédure générale

(Voir schéma d'intervention, fig. II.1 et II.2)

Phase 1 : Inventaire et évaluation des ouvrages ancrés anciens

1. Rassemblement et examen des dossiers de tous les ouvrages ancrés anciens.
2. Évaluation de chaque ouvrage, fondée sur le mécanisme de rupture possible de la structure, l'état présumé des ancrages et leur vérifiabilité. Le résultat est l'évaluation provisoire de l'état de l'ouvrage.
3. Classement des ouvrages en catégories selon l'évaluation provisoire et des dégâts potentiels dus à une défaillance. De ce classement résulte leur potentiel de risque.
4. Saisie des données dans KUBA-DB.

Remarque : Pour certains ouvrages, cette première évaluation peut faire apparaître des risques nécessitant des mesures d'urgence telles que des restrictions d'utilisation, des travaux de consolidation ou une surveillance accrue.

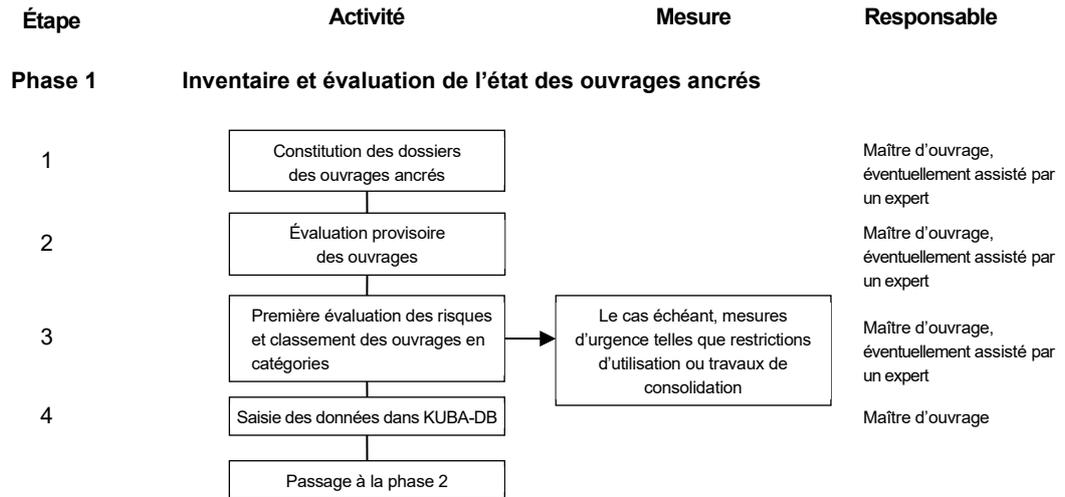


Fig. II.1: Entretien d'ouvrages ancrés anciens – schéma d'intervention, phase 1

Phase 2 : Vérification et remise en état des ouvrages

Chaque ouvrage ancré ancien fera généralement l'objet des travaux suivants :

- Vérification générale de l'ancrage comprenant un relevé général et une évaluation globale de l'état sur la base d'une inspection. Outre le relevé effectué sur place, on procédera à une vérification statique approximative du rôle de l'ancrage et de son effet sur la stabilité de l'ouvrage.
Si l'évaluation l'exige et pour autant que ce soit techniquement réalisable, on élaborera un projet d'investigation pour vérifier les tirants d'ancrage dans le détail. L'élaboration de ce projet est soumise à l'octroi d'une extension de mandat par le maître d'ouvrage, lequel a besoin d'un rapport intermédiaire pour statuer. Le projet d'investigation inclura également les travaux d'entretien à entreprendre simultanément sur les têtes d'ancrage ainsi qu'une proposition de consignes de surveillance judicieuses.
- Examen des tirants selon le projet d'investigation. Exécution simultanée des travaux d'entretien nécessaires et mise en place des éléments du dispositif de surveillance.

Remarque : si la vérification détaillée des tirants s'avère impossible (par ex. en cas de tirants à adhérence totale ou de têtes d'ancrage inaccessibles), on se fondera sur les dangers existants et sur des sondages pour analyser les risques des tirants.

- Évaluation des résultats des vérifications générale et détaillée des tirants, respectivement de l'analyse de leurs risques. Présentation des résultats dans un rapport de vérification.

On se fondera sur l'évaluation plus détaillée des risques pour déterminer l'opportunité et le calendrier des mesures de construction ou de surveillance supplémentaires.

Les mesures proposées (concept d'intervention) seront présentées au maître d'ouvrage avec un devis estimatif. Le maître d'ouvrage discutera des mesures proposées avec l'OFROU et décidera avec l'office de la suite à leur donner.

Remarque : suivant la pertinence des résultats de l'évaluation détaillée des risques, le concept d'intervention pourra inclure une remise en état globale suffisante pour toute la durée de vie résiduelle de l'ouvrage. Sont également envisageables, en cas d'application de la méthode observationnelle, les mesures minimales et suffisantes pour une période limitée, qui pourront être vérifiées ultérieurement et, le cas échéant, complétées.

- Saisie des données dans KUBA-DB.
- Conception du projet relatif aux mesures de construction et/ou de surveillance nécessaires, avec devis (projet d'intervention).
- Réalisation des mesures de construction et/ou de surveillance nécessaires ; les documents suivants seront établis ou complétés :

- convention d'utilisation ;
- base de projet (en cas de mesures de construction) ;
- plan de surveillance ;
- plan d'entretien ;
- documentation relative au projet ;
- rapports techniques.

11. Saisie des données dans KUBA-DB.

Remarque : Toutes les activités des phases 1 et 2 relèvent du gros entretien.

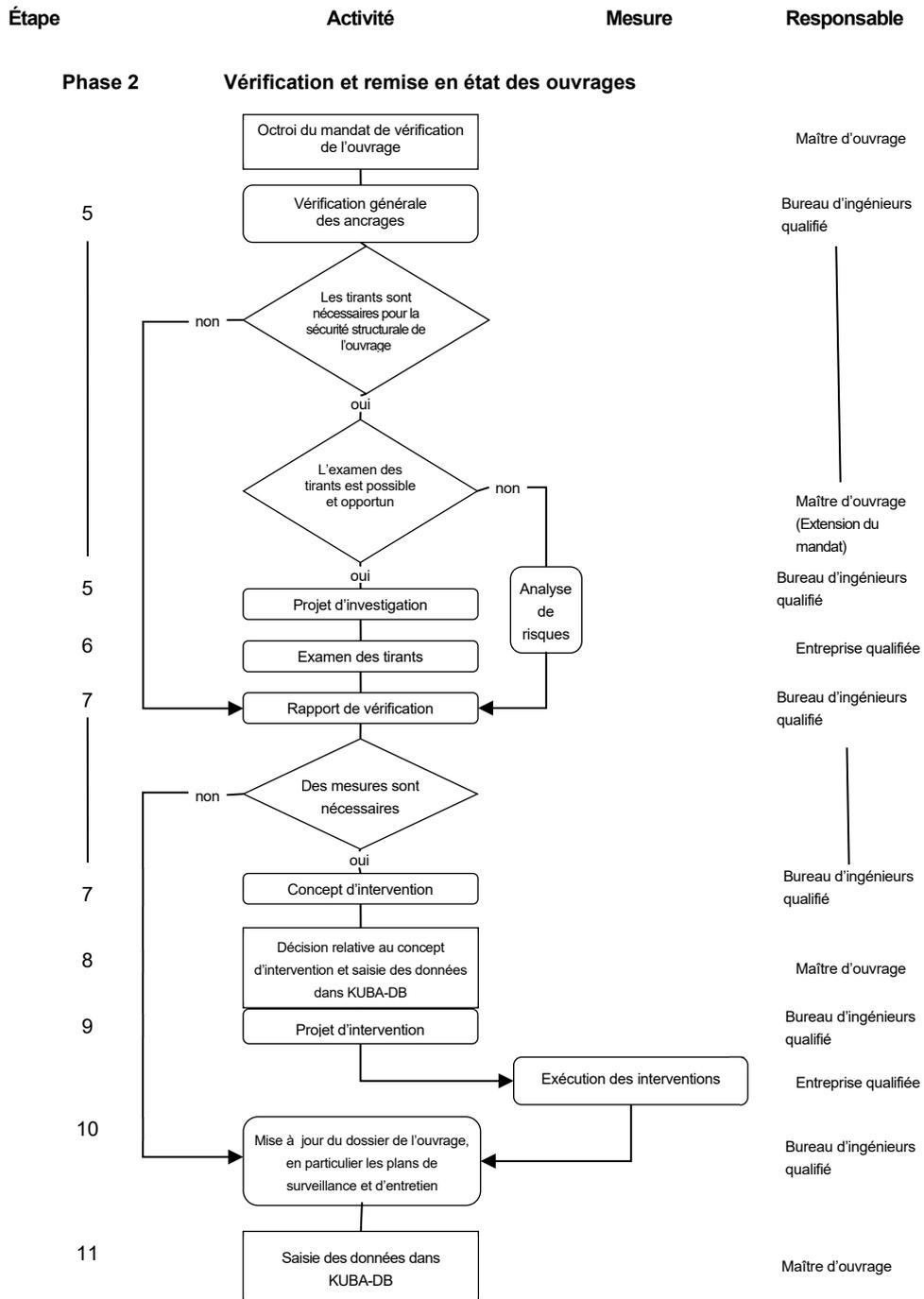


Fig. II.2: Entretien des ouvrages ancrés anciens, schéma d'intervention phase 2

II.2 Instructions détaillées concernant la procédure

II.2.1 Phase 1 : Inventaire et évaluation des ouvrages ancrés

Dossiers des ouvrages ancrés

Les documents de tous les ouvrages ancrés seront rassemblés dans des dossiers d'ouvrage qui contiendront généralement les informations suivantes :

- désignation de l'ouvrage, date de construction et intervenants ;
- fonction de l'ouvrage et infrastructures susceptibles d'être touchées en cas de défaillance (transports, constructions) ;
- situation géologique ;
- type de construction de l'ouvrage avec esquisses ;
- rôle des tirants et importance relative des différents tirants ;
- caractéristiques des tirants ;
- facteurs de risques propres aux tirants ;
- dossiers d'ouvrage ;
- dispositifs de surveillance en place et résultats obtenus ;
- vérifications effectuées et travaux d'entretien effectués ;
- état actuel des ancrages et de l'ouvrage.

Évaluation provisoire des ouvrages ancrés

Les ouvrages feront l'objet d'une évaluation provisoire sur la base du dossier existant et d'une inspection spéciale. Lors de l'inspection on démontrera, dans la mesure du possible, quelques capots de protection des têtes de tirant à titre d'échantillon, afin de se faire une meilleure idée de l'état des ancrages. L'évaluation provisoire se fondera sur les critères du tableau ci-dessous:

Fig. II.3 : Schéma d'évaluation provisoire des ouvrages

Critère / points d'évaluation	bon / bonne	défectueux / défectueuse	mauvais / mauvaise
Comportement lors d'une défaillance	0	1	2
État présumé des ancrages	0	1	2
Vérifiabilité des tirants	0	1	2

L'évaluation provisoire de l'ouvrage résulte du total des points.

Remarque : Le schéma d'évaluation est fortement simplifié. On vérifiera dans chaque cas la plausibilité du résultat. Si plusieurs ouvrages obtiennent le même nombre de points, on affinera le schéma d'évaluation en fonction de l'objet.

Fig. II.4 : Correspondances avec les classes d'état pour la saisie dans KUBA-DB

État présumé de l'ancrage	Classe d'état dans KUBA-DB
bon (0)	⇒ 1 ou 2
défectueux (1)	⇒ 3
mauvais (2)	⇒ 4 ou 5

Explication des différents critères :

Comportement lors d'une défaillance

Le comportement d'un ouvrage ancré lors d'une défaillance est réputé bon si :

- la défaillance d'un tirant isolé ne menace pas la stabilité de la structure et n'entraîne la défaillance d'aucune partie d'ouvrage ;
- la structure porteuse est capable de réagir à des sollicitations plus fortes par des déformations élastiques et/ou plastiques avant de céder (pas de rupture fragile).

État présumé de l'ancrage

L'état de l'ancrage est réputé bon si :

- les tirants ont été soumis à une force d'épreuve suffisamment élevée, sans que la résistance ultime externe ait été atteinte ($P_p \geq 1.25 P_0$) ;
- les tirants sont protégés contre la corrosion ;
- les zones des têtes de tirants ne présentent aucune dégradation due à la corrosion ni au vieillissement, aucune détérioration mécanique, aucune dégradation importante due à l'eau, aucun encrassement anormal ni aucune végétation ;
- l'ouvrage ancré ne présente aucune fissure, aucune déformation, aucun déplacement, ni aucune autre dégradation inadmissible.

Vérifiabilité des tirants

La vérifiabilité des tirants est réputée bonne :

- si tous les tirants sont conçus comme tirants de contrôle (ouvrages dont le comportement ne peut pas être évalué sur la base de mesures de déformation)
- ou
- si l'on dispose de dispositifs de mesure des déplacements de l'ouvrage et du terrain et qu'entre 5 et 10 % des tirants sont conçus comme tirants de contrôle (ouvrages dont le comportement peut être évalué sur la base de mesures de déformation et de mesures représentatives des forces d'ancrage)

Remarque : Le niveau de sécurité inhérent à l'ouvrage (hypothèses de dimensionnement, niveau de précontrainte, sécurité au glissement ou au renversement, etc.) constitue un facteur important dans l'évaluation des risques. Mais il est souvent encore inconnu à ce stade.

Classement des ouvrages en catégories

Les ouvrages sont classés dans les catégories A à D (cf. tableau ci-dessous) sur la base de l'évaluation provisoire et en fonction de leur importance (dégâts potentiels) au sens du ch. 16.3 de la norme SIA 261, tableau 25 [6].

Fig. II.5 : Schéma de classement des ouvrages dans les catégories A à D

CO	Importance de l'ouvrage	Évaluation provisoire de l'ouvrage						
		0	1	2	3	4	5	6
I	dégâts potentiels peu importants	D	D	D	C	C	B	B
II	dégâts potentiels d'importance moyenne	D	D	C	C	B	B	A
III	dégâts potentiels d'importance majeure	D	C	C	B	B	A	A

La catégorie de l'ouvrage en détermine le potentiel de risque :

A L'étude et la vérification doivent commencer immédiatement. On examinera également s'il faut examiner s'il faut édicter des mesures d'urgence (restrictions d'utilisation, travaux de consolidation ou surveillance accrue).

B / C / D L'étude et la vérification seront effectuées selon la suite logique prévue.

II.2.2 Phase 2 : Vérification et remise en état des ouvrages

Vérification générale des ancrages

Le relevé de l'état général des ancrages et la détermination approximative de leur rôle et de leur capacité (nombre de tirants, force de traction globale) visent à permettre l'évaluation de l'état : constat général concernant la sécurité structurale, l'aptitude au service et la durabilité de l'ouvrage ancré. On en déduira des recommandations pour la suite de la procédure. Il faudra notamment apprécier si une vérification détaillée avec des examens supplémentaires s'avère nécessaire, judicieuse et techniquement réalisable ou si, faute de vérifiabilité des tirants, il faudra procéder à une analyse de risques.

Relevé général de l'état

- But

Consigner l'état général de l'ouvrage ancré et sa vérifiabilité.

- Marche à suivre

1. Étude approfondie de tous les dossiers de l'ouvrage, en particulier l'historique de sa construction et les données sur les tirants. Cette étude fournira une description détaillée des tirants existants, de leurs zones critiques en termes de durabilité et de leur vérifiabilité.
2. Inspection de l'ouvrage ancré. La marche à suivre dépend des informations disponibles sur les tirants d'ancrage, ainsi que des possibilités d'accès et d'observation directe des têtes de tirants. Il suffit souvent de procéder à une inspection purement visuelle de l'ouvrage, de son environnement et des têtes de tirants. Dans d'autres cas, il pourra être judicieux de choisir quelques tirants à titre d'échantillon, d'en inspecter les têtes et de déterminer la force d'ancrage par décollement.
3. Récapitulatif des informations disponibles ou manquantes sur l'état des ancrages. On en déduira l'état général présumé des ancrages, en précisant son degré de fiabilité. On décrira en outre les moyens permettant de réunir les informations manquantes, pour autant que cela soit possible.

Calcul de vérification

- But

Grâce à un calcul théorique, fournir des renseignements sur la sécurité structurale nominale de l'ouvrage et sur l'importance de la contribution des ancrages.

- Marche à suivre

On se fondera sur les normes SIA 260 à 267 pour effectuer une vérification globale de l'ouvrage ancré, par exemple dans une ou deux sections représentatives. En admettant que les tirants existants sont intacts et présentent la capacité prévue, ce calcul permet d'obtenir la valeur nominale de la sécurité structurale de l'ouvrage ancré.

Évaluation de l'état de l'ouvrage

- But

Fournir des informations générales sur la sécurité structurale, l'aptitude au service et la durabilité de l'ouvrage ancré.

- Marche à suivre

On commencera par déterminer si la valeur nominale de la sécurité structurale calculée est suffisante, ce qui montrera l'importance de la contribution des ancrages existants à la stabilité de l'ouvrage. On évaluera ensuite les conséquences de la défaillance de tirants isolés sur la stabilité de l'ouvrage. On se fondera sur les résultats et sur le relevé de l'état de l'ouvrage pour déterminer s'il est possible d'effectuer une évaluation générale de la sécurité structurale et de l'aptitude au service actuelles, ainsi que de leur évolution.

Les résultats de la vérification générale seront consignés dans un rapport de vérification qui inclura également des recommandations pour la suite à donner à la vérification. Les mesures ou examens ultérieurs proposés feront tous l'objet d'un devis estimatif et d'un calendrier.

Remarque : La vérification générale d'un ouvrage ancré ancien peut aboutir à des conclusions qualitatives très différentes, par exemple :

- *la contribution des ancrages à la sécurité structurale et à l'aptitude au service de l'ouvrage est indispensable / n'est pas indispensable ;*
- *les tirants présentent des dégâts étendus dus à la corrosion qui sont irréparables / réparables ;*
- *l'efficacité du fonctionnement des ancrages existants peut / ne peut pas être contrôlée au moyen d'une vérification détaillée ;*
- *la défaillance d'un tirant isolé a des conséquences graves / négligeables ;*

- *les mesures de surveillance permettent / ne permettent pas de constater la défaillance d'un tirant isolé en temps utile.*

Selon le cas, la vérification générale aboutit soit à une évaluation concluante de l'état de l'ouvrage (rapport de vérification proprement dit), soit à de simples conjectures dont la vérification exige des examens supplémentaires (rapport intermédiaire).

Vérification détaillée, y c. travaux d'entretien et dispositifs de surveillance

Si les résultats de la vérification générale montrent qu'il est possible et opportun d'effectuer des vérifications complémentaires pour établir l'état des ancrages, on élaborera un projet d'investigation avec descriptif des prestations. L'élaboration de ce projet est soumise à l'octroi du mandat correspondant par le maître d'ouvrage, lequel se fondera sur un rapport intermédiaire. Le projet inclura aussi les travaux d'entretien qu'il sera judicieux d'exécuter en même temps que l'établissement de l'état des ancrages et la mise en place des dispositifs de surveillance (instruments).

Vérification des tirants

- **But**
La vérification des tirants vise à fournir des informations sur l'état des ancrages et sur les forces d'ancrage existantes.
- **Marche à suivre**
On procédera généralement de la façon suivante :
 1. Examen visuel de toutes les têtes de tirant accessibles (dans un premier temps, sans démontage des capots) pour identifier les détériorations mécaniques, les dégradations dues à la corrosion, les venues d'eau, etc.
 2. Détermination des déformations de l'ouvrage et du terrain. Tous les dispositifs de mesure existants feront l'objet d'une mesure de contrôle. On procédera en outre à une inspection de l'ouvrage et de ses alentours.
 3. Investigation approfondie d'un nombre représentatif de tirants
 - a. Démontage des capots ou enlèvement du béton d'enrobage et examen de l'état des têtes de tirant, en particulier de la protection anticorrosion. Si la tête du tirant comporte des ouvertures, on inspectera également l'arrière de la tête avec un endoscope.
 - b. Dans la mesure du possible, détermination de la force d'ancrage effective par décollement de la tête. Si les tirants sont munis de cellules dynamométriques, on en effectuera en même temps la lecture (contrôle de l'efficacité du fonctionnement).
 - c. Examen d'une partie de ces tirants, en particulier ceux dont les pertes de précontrainte dépassent la moyenne. L'examen consistera généralement en une épreuve spéciale de mise en tension, en 3 paliers, jusqu'à la force d'épreuve $P_p \geq 1,25 P_0$. On admettra comme taux de fluage $k_{adm} = 0,50$ mm. Ces épreuves de mise en tension visent à obtenir des renseignements sur la capacité du corps d'ancrage et permettre la détection d'éventuelles dégradations des armatures d'acier dues à la corrosion.
 4. Examen de l'état de la structure ancrée, en particulier des parties d'ouvrage destinées à reprendre les forces d'ancrage des tirants. On se contentera généralement d'un examen visuel détaillé. C'est seulement dans les cas critiques que l'on procédera à des examens supplémentaires (par ex. détermination du recouvrement des armatures, mesures de potentiel, détermination du degré de carbonatation, des détériorations dues aux sels ou à la RAG).

Travaux d'entretien

- **But**
Le but est de profiter de l'examen des ancrages pour exécuter parallèlement les travaux d'entretien manifestement nécessaires.
- **Marche à suivre**
12. Correction de la précontrainte des tirants

Il est parfois judicieux de régler la précontrainte pour la ramener au niveau prévu. Le projet précisera l'ampleur des variations de précontrainte tolérables (en %) au-delà desquelles il faut procéder à un réglage.

13. Injections complémentaires et/ou drainages

Si l'on constate des vides derrière la tête du tirant, ou encore à l'intérieur ou à l'extérieur de la gaine entourant les armatures, on injectera un coulis de ciment ou un composé de protection anticorrosion adéquat. Si l'on constate des venues d'eau dans la zone de la tête du tirant, on essaiera de les arrêter avec des injections ou d'autres mesures, ou encore de les capter en dehors de cette zone au moyen de forages de drainage.

14. Protection anticorrosion de la tête du tirant

Une fois le tirant examiné, on renouvellera la protection anticorrosion, ce qui inclura généralement les travaux suivants :

- nettoyage de la plaque d'appui par sablage ou polissage, puis application d'une peinture de protection ;
- nettoyage de la tête et des surlongueurs de l'armature (à la main ou à la vapeur), puis enrobage au moyen d'une masse anticorrosion adéquate ;
- nettoyage et application d'une couche de protection, ou remplacement des capots de protection et des joints ;
- perçage d'un trou d'aération de \varnothing 6 mm au point le plus bas du capot de protection pour empêcher l'accumulation d'eau de condensation.

15. Autres travaux d'entretien

Selon le type d'ouvrage, d'autres travaux d'entretien peuvent être nécessaires, par exemple :

- remise en état des drainages des puits d'accès pour tirants de mesure ;
- montage de toits de protection contre la chute de pierres ;
- installation d'échelles et d'estrades pour améliorer l'accessibilité des tirants de contrôle ;
- injection des fissures dans le béton de construction ;
- remise en état des surfaces en béton ou pose d'enduit sur ces surfaces ;
- nettoyage du rocher ;
- remplacement de tirants passifs ;
- forages, remise en état de drainages ;
- travaux d'étanchement ;
- plantation ou élimination d'arbres et d'arbustes.

Dispositif de surveillance

- But
Équiper l'ouvrage ancré d'un dispositif de surveillance performant.
- Marche à suivre
En se fondant sur les éventuels dispositifs en place, on établira un projet de dispositif de surveillance adapté à l'ouvrage et aux conditions géologiques.
Les dispositifs existants seront uniquement intégrés dans le système de mesure après vérification de l'efficacité de leur fonctionnement.
La mise en place des dispositifs de surveillance supplémentaires aura lieu le plus tôt possible. Une mesure initiale sera effectuée après leur installation.

Exécution du projet d'investigation

Les travaux seront dirigés par un spécialiste doté de connaissances approfondies en technique des tirants. Les travaux seront confiés à une entreprise de tirants qualifiée qui peut, sans que cela soit une obligation, être celle qui a livré les tirants mis en place. L'auteur du projet d'investigation l'adaptera régulièrement en fonction des résultats obtenus.

Les armatures rompues découvertes durant les investigations seront extraites et transmises sans délai à un laboratoire d'essai qualifié pour analyse des problèmes de corrosion.

Analyse de risques

L'ancrage sera soumis à une analyse de risques si la vérification générale conclut à la nécessité d'études complémentaires mais que celles-ci ne sont pas possibles pour des raisons techniques ou économiques (tirants à adhérence totale, têtes d'ancrage inaccessibles).

- But
L'analyse de risques fournira des indications sur les mesures minimales requises pour garantir la sécurité structurale et l'aptitude au service de l'ouvrage pendant une durée à convenir (par ex. 25 ans). Les mesures seront conçues de manière à fournir des informations suffisantes à l'issue de la durée convenue pour déterminer la nécessité de mesures complémentaires (méthode observationnelle).
- Marche à suivre
 1. Évaluation des risques
Les facteurs suivants, propres à l'ouvrage et affectant sa sécurité, seront appréciés et pondérés, par ex. au moyen d'un système de points :
 - Risques inhérents à chaque tirant
Par ex. type de tirant, construction du tirant, venue d'eau, action des chlorures, résistance, niveau de tension.
 - Fonction de la structure porteuse
Par ex. stabilisation de glissement de terrain, sécurisation de tranchée, revêtement de rocher, ancrage de forces de traction externes.
 - Importance de chaque tirant
Par ex. nombre de tirants, redondance du système porteur, conséquences de la rupture d'un tirant.
 - Type et conséquences d'une défaillance de la structure porteuse
Par ex. rupture fragile ou défaillance avec déformations mesurables, mise en danger d'infrastructures de transport importantes et de bâtiments importants.
 2. Examens supplémentaires
Il faut souvent procéder à des examens supplémentaires pour améliorer la fiabilité de l'évaluation des risques, par ex. :
 - vérification du calcul statique ;
 - sondages ;

- examens chimiques de l'eau ;
 - mise à nu de différentes têtes d'ancrage.
3. Interprétation de l'évaluation des risques
- On se fondera sur les résultats de l'évaluation des risques pour définir les mesures de construction et/ou de surveillance à prendre afin d'atteindre le but de l'analyse des risques. Les différentes options possibles seront indiquées.

Rapport de vérification et concept d'intervention

Un rapport de vérification complet et documenté sera élaboré concernant les examens, respectivement l'analyse des risques.

Le rapport inclura une synthèse de l'évaluation de l'état des ancrages et de l'ouvrage ainsi qu'un pronostic d'évolution. Il permettra de déduire les mesures nécessaires pour assurer la sécurité structurale et l'aptitude au service pendant la durée d'utilisation restante ou pour une période déterminée. L'évaluation des mesures d'assainissement et de leur ampleur tiendra compte du comportement de l'ouvrage jusqu'à la vérification.

En principe, les mesures suivantes sont envisageables, seules ou combinées :

- intensification de la surveillance ;
- mise en place de dispositifs de surveillance supplémentaires ;
- restrictions d'utilisation ;
- ajout ou remplacement de tirants ;
- modification du système porteur.

Le rapport de vérification inclura des propositions concrètes concernant les mesures à prendre (concept d'intervention) et il formulera les délais acceptables pour leur réalisation. Il indiquera en outre si les mesures proposées peuvent être réalisées par étapes.

Accompagné d'un devis estimatif pour les mesures proposées, le rapport de vérification sera remis au maître d'ouvrage pour décision.

II.3 Projet d'intervention

Décidées par le maître d'ouvrage sur la base du rapport de vérification, les mesures permettant de garantir une sécurité structurale suffisante de l'ouvrage ancré feront l'objet d'un projet, d'un devis et d'un appel d'offres auprès d'entreprises qualifiées. La demande d'adjudication donnera une pondération importante à la qualité de l'entreprise et à l'expérience en technique des tirants des personnes-clés.

II.4 Mise en œuvre des mesures et établissement du dossier de l'ouvrage

La surveillance des travaux sera confiée à un ingénieur disposant de connaissances approfondies en technique des tirants et pouvant faire état de l'expérience correspondante. La direction des travaux, ou du moins le suivi technique des travaux, seront assurés de préférence par l'auteur du projet.

Si des tirants supplémentaires ou de remplacement doivent être mis en place, ils seront réalisés et contrôlés selon les règles indiquées dans la partie I de la présente directive.

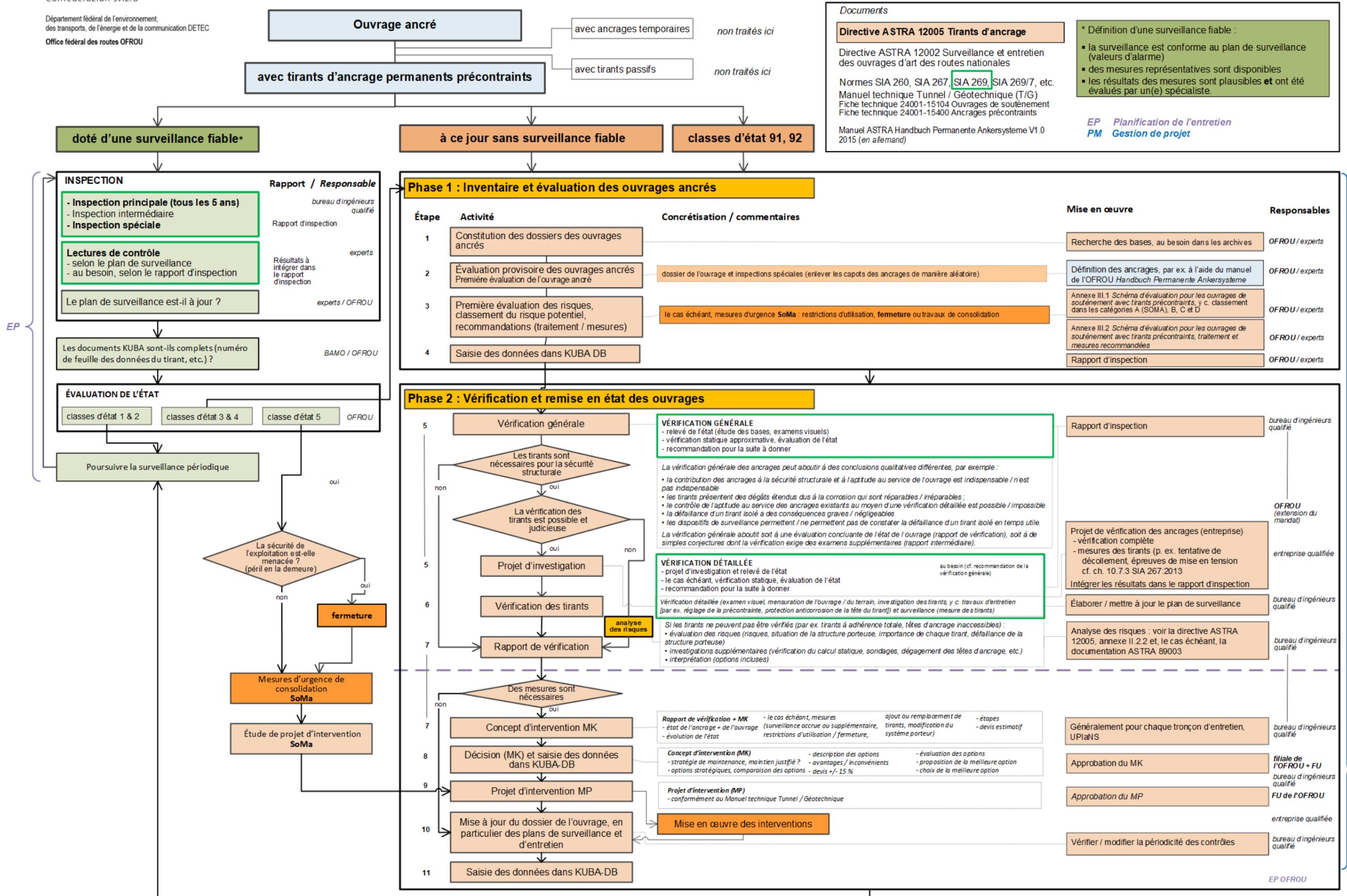
Si des éléments nouveaux et essentiels pour la sécurité structurale viennent à être connus pendant l'exécution des travaux, la direction des travaux en avisera immédiatement l'auteur du projet. Celui-ci procédera à une revue du projet fondée sur ces éléments et dans des délais permettant d'inclure les décisions qui en résultent dans les travaux en cours.

Après l'achèvement des travaux de construction, le dossier de l'ouvrage sera établi ou complété. Les données correspondantes seront en outre saisies dans KUBA-DB.

III Entretien des ouvrages ancrés – méthode

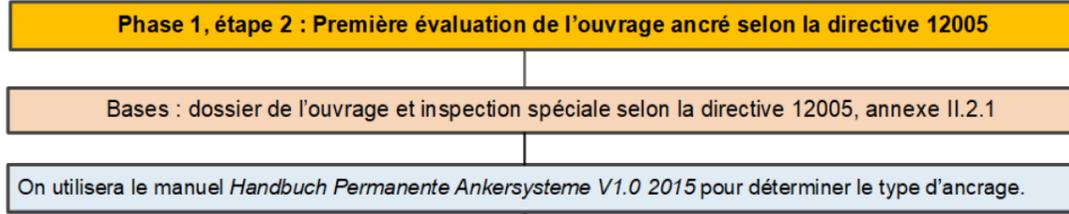
Remarque : la présente directive est au format A4 mais son annexe III au format A3. Pour améliorer la lisibilité du document, au moment de l'impression, on veillera à cocher la rubrique Choisir la source de papier selon le format de la page PDF dans la partie de la fenêtre d'impression intitulée Dimensionnement et gestion des pages.

Annexe III : Entretien des ouvrages ancrés – méthode



III.1 Schéma d'évaluation des ouvrages de soutènement avec tirants précontraints – évaluation de l'ouvrage

Annexe III.1 : Schéma d'évaluation des ouvrages de soutènement avec tirants précontraints – évaluation de l'ouvrage



OUVRAGE :

- RN / tronçon :
- N° d'ouvrage :
- Nom de l'ouvrage :
- N° IO :
- Désignation IO :
- Date :
- Bureau / inspecteur :
- Feuille de données d'ancrage n° :
- Type de tirant :
- Date de construction :
- Remarques :

Type d'ancrage	Ancrages à adhérence totale Ancrages à fils de fer et à torons : 1952-1978 environ Ancrages à une et plusieurs barres : 1952-1975 environ	Ancrages à longueur libre sans double protection anticorrosion Ancrages à fils de fer et à torons : 1973-1988 environ Ancrages à une et plusieurs barres : 1965-1988 environ	Ancrages à longueur libre avec double protection anticorrosion Ancrages à fils de fer et à torons : 1978-1997 environ Ancrages à une et plusieurs barres : 1983-1995 environ	Ancrage avec protection anticorrosion complète Ancrages à torons entièrement isolés électriquement, avec mesure de résistance électrique** : dès 1995 environ
Comportement lors d'une défaillance (V)	<p>V1 : importance d'un tirant isolé (évaluation de la menace sur la stabilité de la structure et du risque de défaillance d'une partie de l'ouvrage qui résulteraient de la défaillance du tirant)</p> <p>V2 : est-ce que la structure porteuse réagit à des sollicitations plus fortes par des déformations élastique et plastiques avant de céder (pas de rupture fragile) ?</p> <p>Note pour le comportement lors d'une défaillance :</p> <p>bon (0) défectueux (1) mauvais (2) V= [] points</p>	<p>bon (0) défectueux (1) mauvais (2) V= [] points</p>	<p>bon (0) défectueux (1) mauvais (2) V= [] points</p>	<p>bon (0) défectueux (1) mauvais (2) V= [] points</p>
État présumé de l'ouvrage (Z)	<p>Z1 : est-ce que les tirants ont été soumis à une force d'épreuve suffisamment élevée, sans que la résistance ultime ait été atteinte ($P_p > 1.25 P_0$) ?</p> <p>Z2 : est-ce que les tirants sont protégés contre la corrosion ?</p> <p>Z3 : est-ce que les zones des têtes des tirants présentent des dégradations dues à la corrosion et au vieillissement, des détériorations mécaniques, des dégradations importantes dues à l'eau, un encrassement anormal ou de la végétation ?</p> <p>Z4 : est-ce que l'ouvrage ancré présente des fissures, déformations ou déplacements inadmissibles, ou encore d'autres dégradations inadmissibles ?</p> <p>Note pour l'état présumé de l'ouvrage :</p> <p>défectueux (1) mauvais (2) Z= [] points</p>	<p>défectueux (1) mauvais (2) Z= [] points</p>	<p>bon (0) défectueux (1) mauvais (2) Z= [] points</p>	<p>bon (0) défectueux (1) mauvais (2) Z= [] points</p>
Vérifiabilité des tirants (K)	<p>K1 : est-ce que tous les tirants sont des tirants de contrôle ?</p> <p>K2 : est-ce que 5 à 10% des tirants sont conçus comme tirants de contrôle ? (au moins 3 tirants de contrôle par élément de construction)</p> <p>K3 : y a-t-il des dispositifs de mesure des déplacements de l'ouvrage et du terrain ?</p> <p>Note pour la vérifiabilité des tirants :</p> <p>défectueuse (1) mauvaise (2) K= [] points</p>	<p>bonne (0) défectueuse (1) mauvaise (2) K= [] points</p>	<p>bonne (0) défectueuse (1) mauvaise (2) K= [] points</p>	<p>bonne (0) défectueuse (1) mauvaise (2) K= [] points</p>
<p>Évaluation de l'ouvrage = V+Z+K= [] points</p>				

** La valeur limite I = 100 000 Ohm (résistance électrique) est le critère de référence pour évaluer l'isolement de l'ancrage (cf. ch. 10.7.4.2, norme SIA 267:2013).

Phase 1, étape 2 : première évaluation des risques + classement de l'ouvrage selon la directive 12005

Selon extrait de la norme SIA 261 (2014), tableau 25 :

CO I	- Occupation PB ≤ 50 personnes - Pas de rassemblements importants de personnes - Pas de marchandises ni installations ayant une valeur particulière - Atteinte à la population ou à l'environnement exclue par ex. points d'importance secondaire suite à un séisme
CO II	- Occupation PB > 50 personnes - Fréquentation possible par un plus grand nombre de personnes - Marchandises ou installations ayant une valeur particulière - Infrastructure ayant une fonction importante par ex. murs de soutènement et talus le long des voies de communication d'importance majeure suite à un séisme
CO III	- Infrastructure ayant une fonction vitale par ex. murs de soutènements et talus le long des voies de communication d'importance majeure pour accéder à certains ouvrages ou à une zone donnée suite à un séisme.

Remarque : le classement de l'ouvrage incombe aux filiales.

* Le critère d'évaluation K2 ne s'applique pas dans les cas suivants (ch. 10.7.5.5 SIA 267:2013)
- ouvrages avec ancrages permanents dont le comportement statique ne peut pas être suivi au moyen de mesures de déformation, par ex. dans le cas de la stabilisation de pans rocheux instables ou dans celui de l'ancrage d'ouvrages rigides ancrés directement au rocher
- nécessité de pouvoir retendre ou détendre les tirants dans le cas où il faut s'attendre à d'importantes déformations de l'ouvrage ou du terrain.

Extrait de la directive ASTRA 12005 (2007), annexe II.2.1, p. 28 :

CO	Importance de l'ouvrage	Évaluation provisoire de l'ouvrage = V+Z+K						
		0	1	2	3	4	5	6
I	dégâts potentiels peu importants	D	D	D	C	C	B	B
II	dégâts potentiels d'importance moyenne	D	D	C	C	B	B	A
III	dégâts potentiels d'importance majeure	D	C	C	B	B	A	A

Fig. II.5 : Schéma de classement des ouvrages dans les catégories A à D

Extrait de la directive ASTRA 12005 (2007), annexe II.2.1, p. 28 :

La classe de l'ouvrage en détermine le risque potentiel :

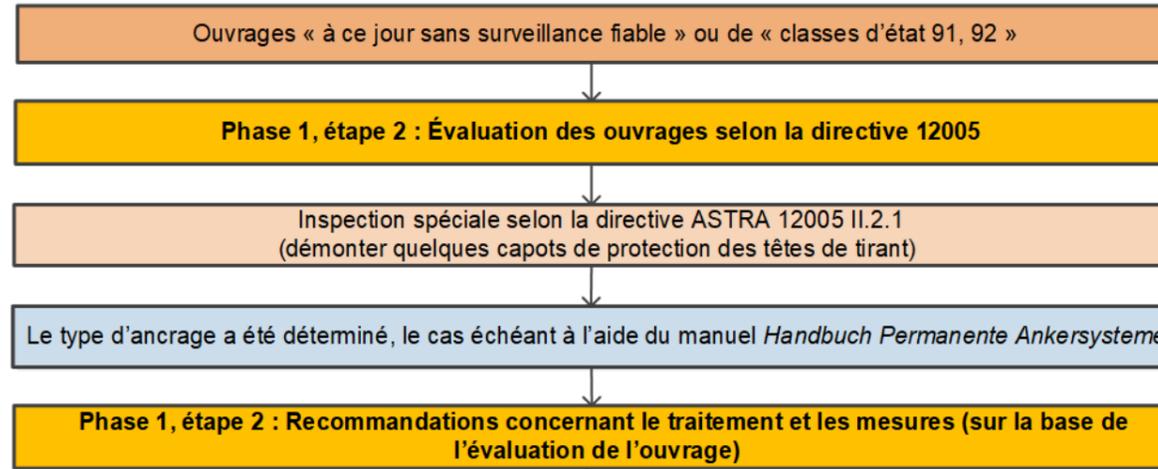
A L'étude et la vérification doivent commencer immédiatement. Il faut envisager des mesures d'urgence (restrictions d'utilisation, travaux de consolidation ou surveillance accrue).

B / C / D L'étude et la vérification seront effectuées selon la suite logique prévue.

Risque potentiel de l'ouvrage : [] catégorie

III.2 Schéma d'évaluation des ouvrages avec tirants précontraints – recommandations concernant le traitement et les mesures

Annexe III.2 : Schéma d'évaluation des ouvrages de soutènement avec tirants précontraints, recommandations concernant le traitement et les mesures



selon l'annexe III Entretien des ouvrages ancrés, méthode et l'annexe III.1 Schéma d'évaluation des ouvrages de soutènement avec tirants précontraints, évaluation de l'ouvrage

Type d'ancrage	Ancrages à adhérence totale Ancrages à fils de fer et à torons : 1952-1978 environ Ancrages à une et plusieurs barres : 1952-1975 environ					Ancrages à longueur libre <u>sans</u> double protection anticorrosion Ancrages à fils de fer et à torons : 1973-1988 environ Ancrages à une et plusieurs barres : 1965-1988 environ					Ancrages à longueur libre <u>avec</u> double protection anticorrosion Ancrages à fils de fer et à torons : 1978-1997 environ Ancrages à une et plusieurs barres : 1983-1995 environ					Ancrages avec protection anticorrosion poussée Ancrages à torons entièrement isolés électriquement, avec mesure de résistance électrique**. dès 1995 environ				
Recommandations concernant le traitement et les mesures	Évaluation de l'ouvrage = V+Z+K = (extrait de l'annexe III.1)																			
	6 5 4 3 2					6 5 4 3 2 1					6 5 4 3 2 1 0					(théoriquement impossible) 6 5 4 3 2 1 0				
	Analyse des risques					Analyse des risques					Analyse des risques					Analyse des risques				
	Renforcement partiel					Renforcement partiel					Renforcement partiel					Renforcement partiel				
	Remplacement de tous les ancrages					Remplacement de tous les ancrages					Remplacement de tous les ancrages					Remplacement de tous les ancrages				
	Mise en place d'un dispositif de surveillance, élaboration / mise à jour d'un plan de surveillance Mise en œuvre du plan de surveillance					Mise en place d'un dispositif de surveillance, élaboration / mise à jour d'un plan de surveillance Mise en œuvre du plan de surveillance					Mise en place d'un dispositif de surveillance, élaboration / mise à jour d'un plan de surveillance Mise en œuvre du plan de surveillance					Mise en place d'un dispositif de surveillance, élaboration / mise à jour d'un plan de surveillance Mise en œuvre du plan de surveillance				
Mesures pour consolider la fixation de la tête du tirant si elle menace de sauter (ancrages à barres)					Mesures pour consolider la fixation de la tête du tirant si elle menace de sauter (ancrages à barres)					Mesures pour consolider la fixation de la tête du tirant si elle menace de sauter (ancrages à barres)					Mesures pour consolider la fixation de la tête du tirant si elle menace de sauter (ancrages à barres)					

** La valeur limite I = 100 000 Ohm (résistance électrique) est le critère de référence pour évaluer l'isolement de l'ancrage (cf. ch. 10.7.4.2, norme SIA 267:2013).

Bibliographie

Directives de l'OFROU

- [1] Office fédéral des routes OFROU (2005), « **Surveillance et entretien des ouvrages d'art des routes nationales** », directive ASTRA 12002, www.astra.admin.ch.
- [2] Office fédéral des routes OFROU (2007), « **Réaction alcalis-granulats, Données de base et mesures pour les ouvrages d'art nouveaux et existants** », documentation ASTRA 82013, V1.01, www.astra.admin.ch.
- [3] Office fédéral des routes OFROU (1999), « **Tirants d'ancrages** », directive ASTRA 12005 (ancienne version 2.00)
- [4] Office fédéral des routes OFROU (1993), « **Tirants d'ancrage permanents en terrain meuble et en rocher** » directive ASTRA 12005 (ancienne version 1.00)

Normes

- [5] Société suisse des ingénieurs et architectes SIA (2013), « **Bases pour l'élaboration des projets de structures porteuses** », norme SIA 260
- [6] Société suisse des ingénieurs et architectes SIA (2020), « **Actions sur les structures porteuses** », norme SIA 261
- [7] Société suisse des ingénieurs et architectes SIA (2013), « **Construction en béton** », norme SIA 262
- [8] Société suisse des ingénieurs et architectes SIA (2013), « **Construction en acier** », norme SIA 263
- [9] Société suisse des ingénieurs et architectes SIA (2013), « **Géotechnique** », norme SIA 267
- [10] Comité européen de normalisation CEN (2004), „**Eurocode 8. Design of structures for earthquake resistance. Foundations, retaining structures and geotechnical aspects**“, EN 1998-5 :2004
- [11] Société suisse des ingénieurs et architectes SIA (1995), « **Tirants d'ancrage précontraints** » Recommandation SIA V 191
- [12] Société suisse des ingénieurs et architectes SIA (2003), « **Bases pour l'élaboration des projets de structures porteuses - Actions sur les structures porteuses - Introduction aux normes SIA 260 et 261** », Documentation SIA D 0181

Publications

- [13] F. Hunkeler, P. Matt, U. von Matt et R. Werner (août 2005), « **Câbles de précontrainte, haubans et tirants d'ancrage - Description des systèmes et leçons tirées des dégâts dus à la corrosion** », Office fédéral des routes OFROU, Projet de recherche AGB 2000/470, Rapport VSS No. 588
- [14] U. von Matt et M. Büchler (février 2007), « **Tirants d'ancrage précontraints en sol et en rocher : Fluctuations de la résistance électrique** », Office fédéral des routes OFROU, Projet de recherche AGB 2001/489, Rapport VSS No. 612

Liste des modifications

Édition	Version	Date	Modifications
2022	3.13	30.11.2022	Modifications formelles, corrections mineures des renvois aux normes, apport de compléments aux annexes III avec le concours de A. Lutz et U. von Matt (bureau d'ingénieurs) M. Folly et B. Fonyo (OFROU)
2007	3.11	13.02.2012	Modifications formelles en français et en allemand. Examen complet et révision de la traduction française
2007	3.10	01.10.2007	Modifications formelles
2007	3.00	01.08.2007	Entrée en vigueur de l'édition 2007 Précisions et complément à la norme SIA 267:2003 <i>Géotechnique</i> , à la norme SIA 118 / 267:2004 <i>Conditions générales pour la construction en géotechnique</i> , l'extension pour les ancrages non tendus, l'influence des tremblements de terre sur les édifices ancrés et la réaction alcalis-granulats du béton (RAG)
1999	2.00	1999	Entrée en vigueur de l'édition 1999 Précisions et complément à la norme SIA V 191:1995
1993	1.00	1993	Entrée en vigueur de l'édition 1993

