

Mise en oeuvre de la norme SIA 269 pour les installations à câbles

Prof. Thomas Vogel, ETH Zürich

Réunion technique des ingénieurs civils du domaine des installations à câbles
Office fédéral des transports (OFT)
Ittigen, le 17 juin 2015

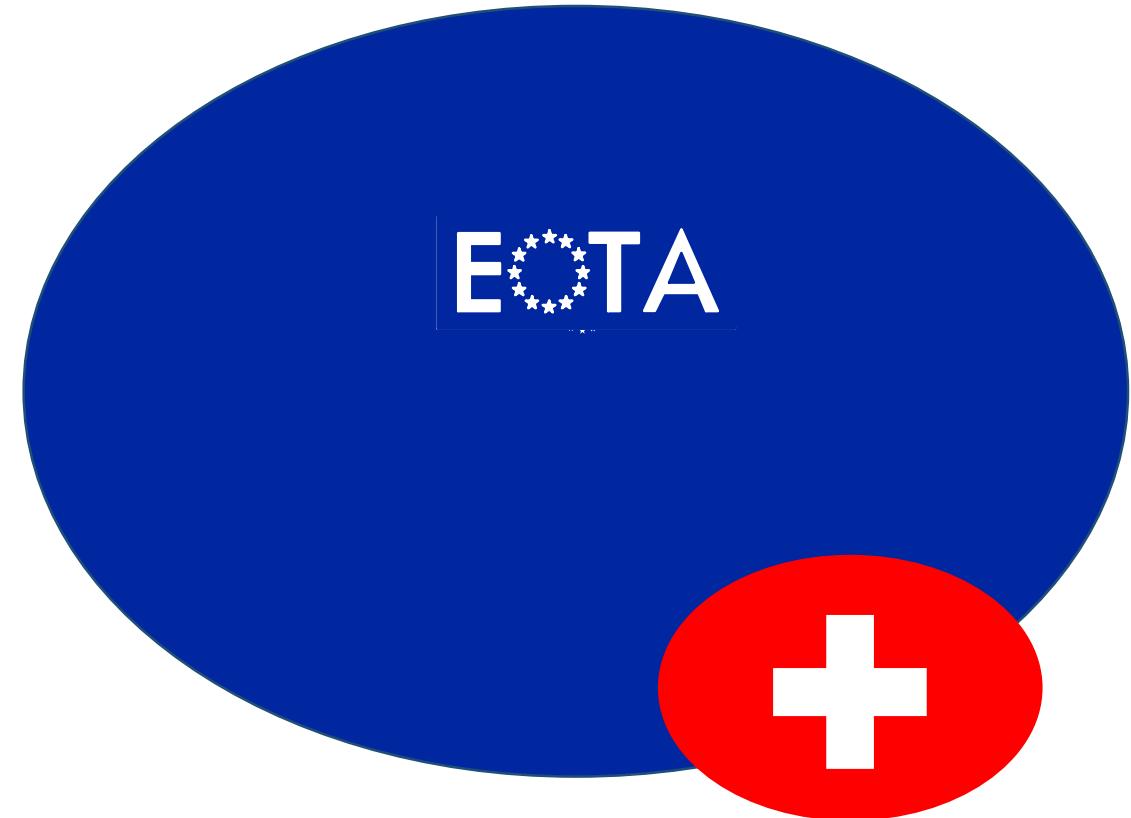
Contenu

- Relation et mise en oeuvre des différents groupes de normes SN EN, EC, SIA
 - Bilan
 - Projet SIA NPD (CH)
- Hiérarchie des normes de maintenance et position dans le groupe de normes SIA
- Définitions de la maintenance
- **L'exemple**
 - Pylône treillis n° 2 de l'installation X-Y
 - Examen par l'ingénieur Z
- Examen général
 - **Relevé de l'état**
- Examen détaillé
 - **Relevé de l'état (cont.)**
 - **Classes d'état**
 - **Evaluation de l'état**
- Actualisation
 - Des actions
 - Des propriétés des matériaux de construction et du sol de fondation
 - Des données géométriques
 - Du modèle de la structure et de la capacité de déformation
- Situations de dimensionnement
- Vérification déterministe de la sécurité structurale
- **Mesures de renforcement**
- Vérification probabiliste de la sécurité structurale
 - **Niveau de sécurité**
 - Méthode semi-probabiliste
 - **Application 1**
 - **Estimation de la probabilité de défaillance**
 - **Application 2**
 - **Proportionnalité**
- **Conclusions**
- **Références**

Relation et mise en oeuvre des différents groupes de normes SN EN, EC, SIA (1)



Associations privées



Commissions gouvernementales

Relation et mise en oeuvre des différents groupes de normes SN EN, EC, SIA (2)

Variante A

SN EN 12930:2015

Prescriptions de sécurité pour les installations à câbles transportant des personnes - Calculs

SN EN 13107:2004

Prescriptions de sécurité pour les installations à câbles transportant des personnes – Ouvrages de génie civil

PN und NA
en travail

SN EN 13107:2004 F
Préface nationale

SN EN 13107
NORME EUROPEENNE

Annexe NA
(informative)
Annexe nationale

Caractère des normes SIA:

Cette collection de normes, portant les numéros SIA 260 à SIA 267, constitue un condensé des dispositions des Eurocodes correspondant à une mise en pratique adéquate pour les conditions suisses. Selon les directives de la Commission des Communautés européennes, il est possible d'appliquer cette série de normes en Suisse comme variante aux Eurocodes.

[Préfaces nationales EN 1990ff]

Normes suisses applicables

- Maintenance:
 - SIA 469
- Actions locales de vent:
 - SIA 261, recommandations MeteoSuisse
- Actions locales de la neige:
 - SIA 261, recommandations SLF
- Avalanches:
 - SIA 261/1, recommandations SLF
- Actions sismiques:
 - SIA 261
- Dispositions en cas d'incendie:
 - SIA 260 & 261, recommandations AEAI
- ...

Relation et mise en oeuvre des différents groupes de normes SN EN, EC, SIA (2) **Variante B**

SN EN 12930:2015
Prescriptions de sécurité pour les installations à câbles transportant des personnes - Calculs

SN EN 13107:2004
Prescriptions de sécurité pour les installations à câbles transportant des personnes – Ouvrages de génie civil

Chap. 2 Références normatives (concernant les actions)

- **Normes européennes EN**
 - 1990, 1991-1-1, 1991-1-4
- **Prénormes européennes ENV**
 - 1991-1-1, 1991-2-4, 1991-2-6, 1991-2-7, 1991-4, 1991-5
- **Normes européennes EN**
 - 1990, 1991-1-1, 1991-1-2, 1991-1-3, 1991-1-5, 1991-2

Cohérence:

La norme fait partie d'un groupe de normes sur les actions et le dimensionnement, dont leur application n'a de sens que dans son ensemble.

NPDs CH:

La Suisse renonce, jusqu'à nouvel ordre de fixer des paramètres nationaux car les normes sur les structures porteuses SIA 206 à SIA 267 correspondent à une mise en pratique adéquate des Eurocodes pour les conditions suisses.

Lors de l'utilisation des Eurocodes en Suisse, les paramètres nationaux sont à fixer en relation avec le projet entre le maître de l'ouvrage et le mandataire et à documenter dans la convention d'utilisation.

[Préfaces nationales EN 1990ff]

Bilan

Points de départ:

- Les normes SIA sont applicables et opérationnelles mais ne couvrent pas toutes les spécialités des installations à câbles.
- Les normes EN sont plus complètes mais présentent encore des lacunes au niveau des NPD (CH).
- La norme EN 13107 s'appuie encore en partie sur les ENV.

Principale différence (pour mêmes désignations)		
	Normes SIA [SIA 260]	Eurocodes [EN 1990]
ψ, ψ_i	Coefficient de réduction	Coefficient de combinaison
Valeur de dimensionnement F_d	AP: $F_d = \gamma_f F_{rep}$ AC: $F_d = \psi_i F_k$	$F_d = \gamma_f F_{rep} = \gamma_f \psi F_k$

Marche à suivre pragmatique:

- Application des EN 12930 et 13107 pour les définitions spécifiques aux installations à câbles.
- Application du groupe des normes SIA 260 et SIA 269 (subsidiarie), pour autant qu'il s'agisse de structure porteuse.
- Application impérative des Eurocodes,
 - là où les normes SIA y font un renvoi.
- Application alternative des Eurocodes
 - là où les normes SIA présentent des lacunes,
 - si des NPD(CH) existent,
 - si des NDP spécifiques au projet peuvent être définis.

Projet *Fixation des «paramètres déterminés au niveau national» pour les Eurocodes*

Etat actuel

Variante B

[tec21 11/2015]

Premier paquet

- SN EN 1990: Bases de calcul
- SN EN 1991: Actions
 - SN EN 1991-1-1 PV, CU
 - SN EN 1991-1-2 Incendie
 - SN EN 1991-1-3 Neige
 - SN EN 1991-1-4 Vent
- SN EN 1992: Struct. en béton
- SN EN 1995: Struct. en bois
- SN EN 1996: Str. maçonnerie

Publication

- 01.05.2014
≈ mars 2015
≈ mars 2015
≈ mars 2015
≈ 01.06.2015
01.05.2014
01.05.2014
01.05.2014

Deuxième paquet

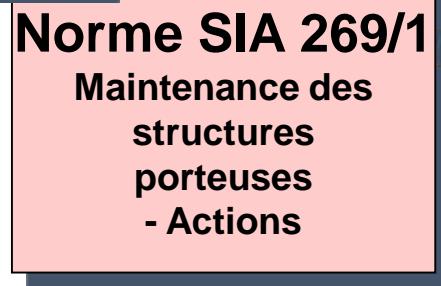
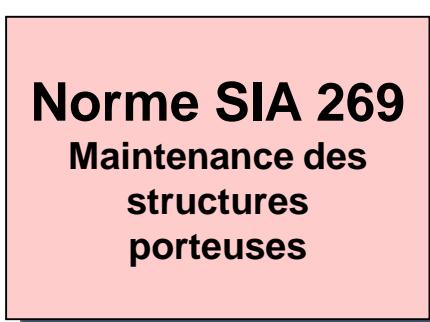
- SN EN 1993: Structures en acier
- SN EN 1994: Structures mixtes
- SN EN 1998: Séisme
- Consultation ≈ fin 2015
- Publication ≈ milieu 2016
- SN EN 1997: Calculs géotechniques ?

(Traduction du texte allemand) Avec les nouveaux paramètres déterminés NPD normatifs, la pratique valable jusqu'à présent qui était de fixer individuellement entre le maître de l'ouvrage et le mandataire les paramètres spécifiques au projet, peut être annulée.

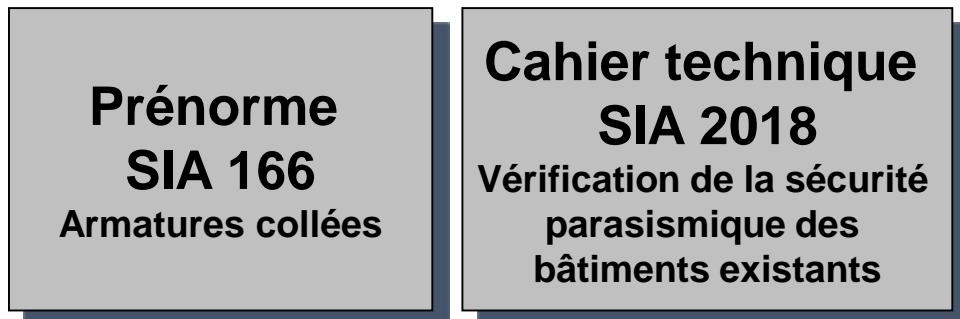
[26.07.2013 | tec21 | Dr. Paul Lüchinger, Dr. Manuel Alvarez]

Hiérarchie des normes de maintenance

Norme de base



Normes spécifiques au mode de construction



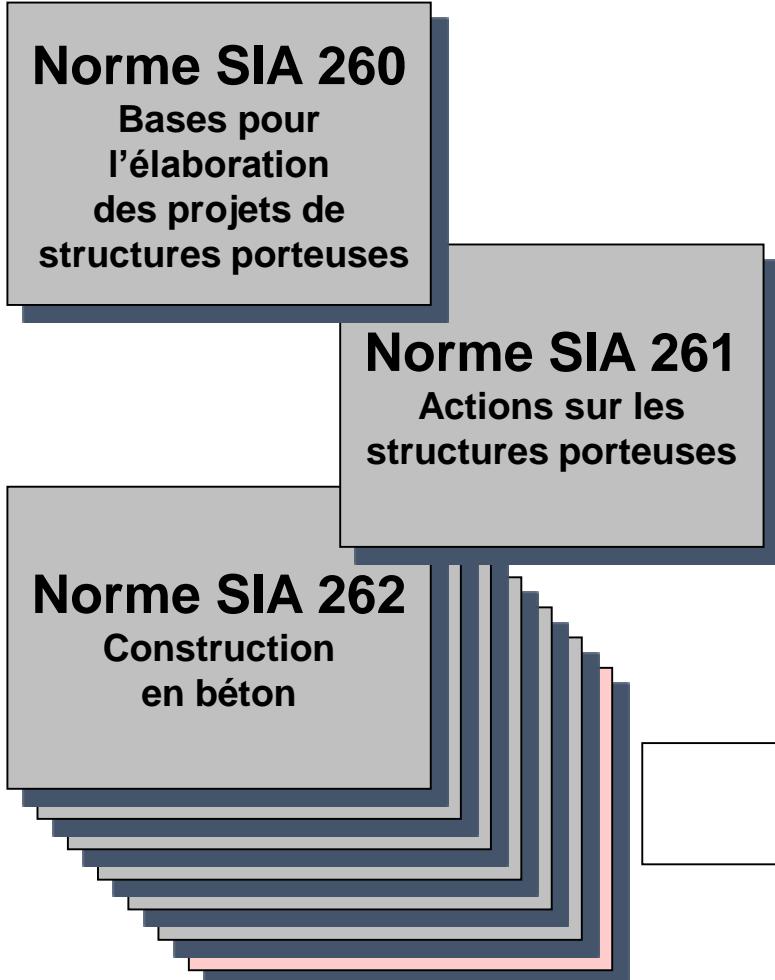
Génération 2011

Ultérieurement:

- SIA 269/6-2:
 - Briques et parpaings
- SIA 269/8:
 - Séisme
 - Consultation 2014
 - Remplace SIA 2018

Position des normes de maintenance dans la série des normes SIA

Normes pour les nouvelles constructions

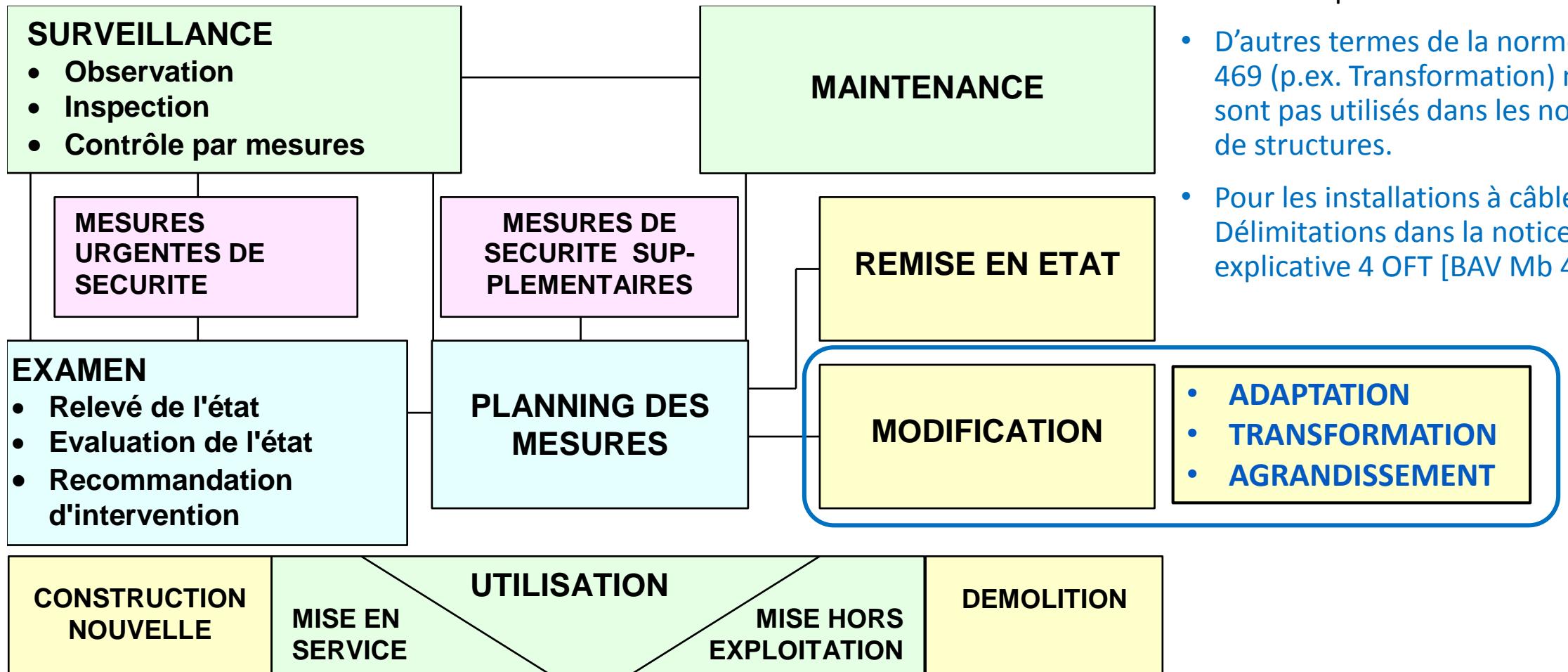


Normes de maintenance



- Normes pour les nouvelles constructions
 - Génération 2003
 - Révisions partielles 2013 ff
- Normes de maintenance
 - Génération 2011

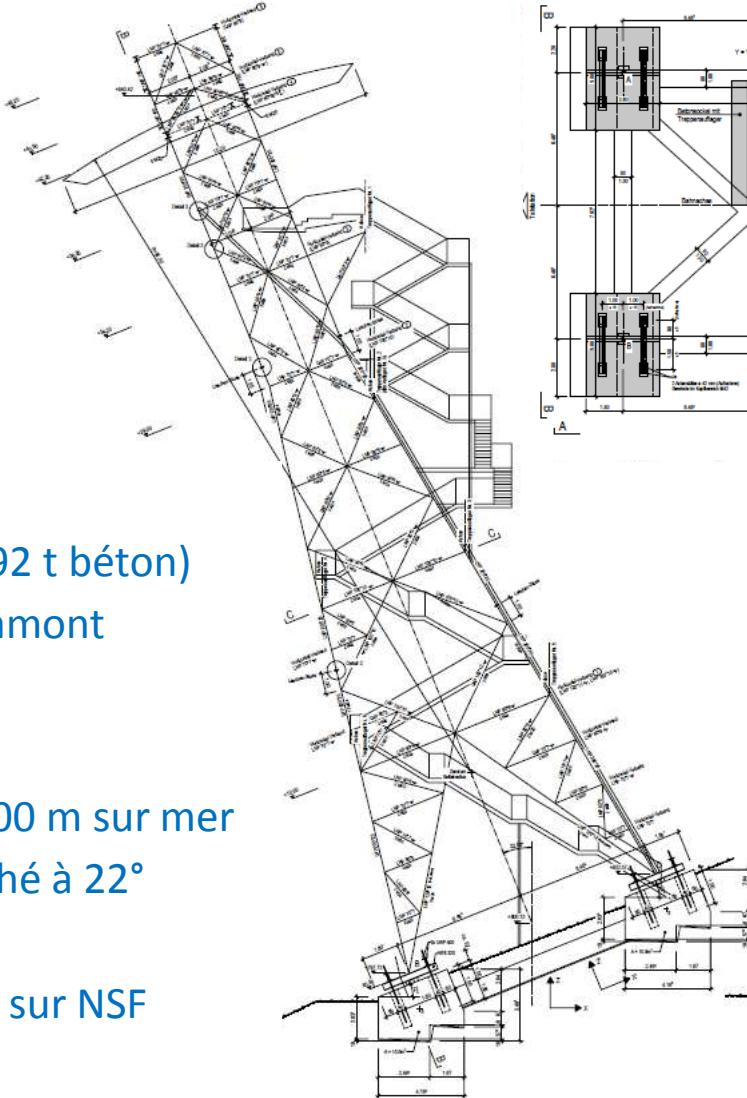
Termes de la maintenance



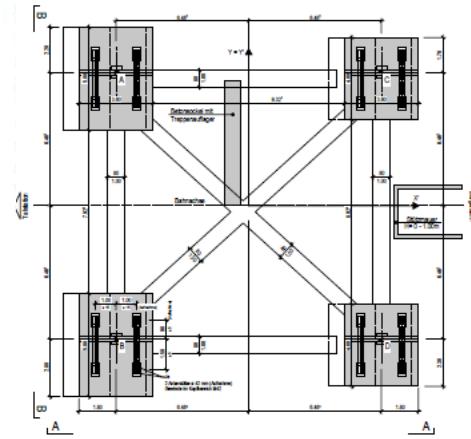
L'exemple

- Téléphérique à 2 voies
- Débit
 - Actuel 550 P/h
 - Projet 474 P/h
- Motrice par adhésion en station aval
- Contrepoids:
 - Câbles porteurs en station aval (2x 92 t béton)
 - Câbles tracteurs inf/sup en station amont (33 t béton)
- Pylône treillis 2
 - Niveau supérieur fondation (NSF) 800 m sur mer
 - Dans le sens du profil en long, penché à 22°
 - Hauteur pylône: 46.70 m sur NSF
 - Hauteur appuis des câbles: 43.56 m sur NSF

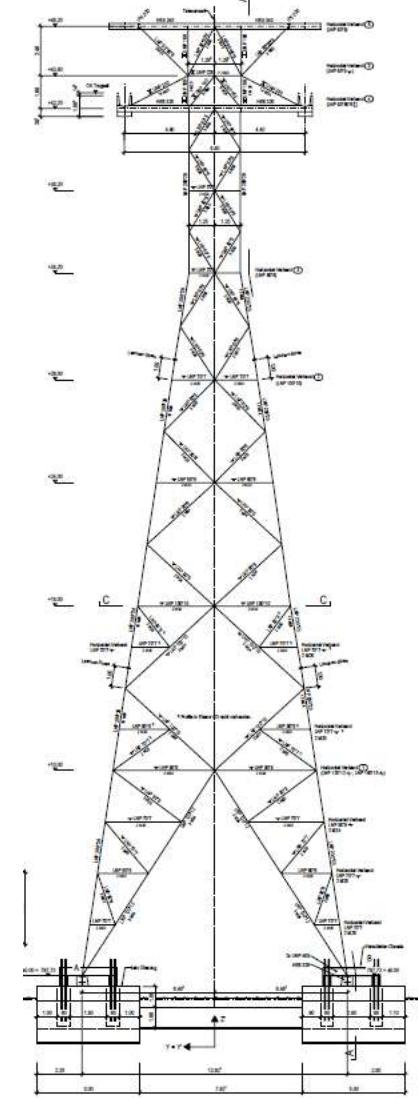
Vue parallèle à la pente



Vue fondation



Vue aval + axe



Examen général

[SIA 269] chiffre 6.1.3

Examen général [SIA 269] annexe A
Bases

- Etude du dossier de l'ouvrage
- Actualisation de la convention d'utilisation
- Actualisation de la base du projet

Convention d'utilisation nouvellement établie [CU]

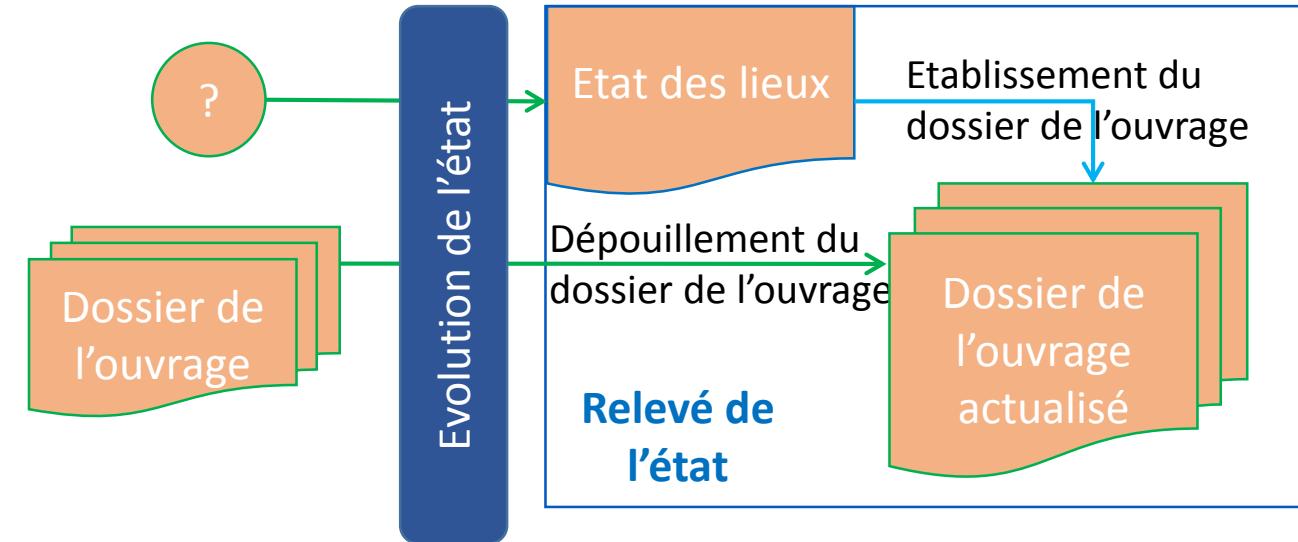
- Durée d'utilisation restante constructions portantes: 25 ans
- Vérification du profil en long (mouvements de terrain)
- Concept de mesures du vent
- Procédure en cas de givrage
- Protection sur l'autoroute
- Objectifs de protection et risques particuliers
- Dispositions tirées des normes (e.a. SIA 269/n, LICa, OICa, SN-EN nnn)
- Bases (spécifiques au projet)

Base du projet nouvellement établie [BP]

- Déplacement pylône 2 1971-2013: 1.31 m
- Actualisation des matériaux (béton, acier à béton, tirants, acier de construction, boulons)
- Actualisation des facteurs de résistance
- Actualisation des actions
 - Poids propre et poids propre non structurel: inchangés depuis 1971
 - Charge utile (nouvelles) passerelles: [SIA 261:2003], [EN 13107]
 - Charges dues au trafic: voir ci-dessous
 - Climat: référence au rapport [BUE]
 - Dangers naturels et autres dangers: référence aux expertises
- Ensemble des actions propres du téléphérique
- Situations de danger actualisées

Relevé de l'état (1)

- Définition:
 - «Acquisition d'informations sur l'état actuel d'un ouvrage ou sur l'évolution ayant conduit à cet état, dans le but de déceler les défauts, détériorations et mécanismes de détérioration." [SIA 260:2013]
- Le relevé d'état a comme but
 - d'obtenir des renseignements sur les situations de risque, des informations sur les actions et des indications sur l'exposition de la structure porteuse
 - De reconnaître l'état de la structure avec ses détériorations et ses défauts éventuels et fournir des informations utiles à l'évaluation de l'état. [SIA 269] chiffre 6.2.1.2



- La tâche primordiale du relevé de l'état consiste à collecter les informations concernant:
 - La structure porteuse et son comportement
 - Les situations de risque, les états d'utilisation, les actions et leurs effets
 - L'état des éléments de structure, en particulier ceux qui sont exposés à des influences marquées de l'environnement
 - Les procédés et les matériaux de construction, leurs propriétés lors du relevé et leur évolution probable. [SIA 269] chiffre 6.2.1.4

Relevé de l'état (2)

Liaison pylône - fondation

Examen général [SIA 269] annexe A

Relevé de l'état

- Contrôles visuels
- Investigations simples, généralement non destructives

Stütze Nr. 2, Baujahr 1971

Mitteilungen und Anträge

- SOMA, ÜMA
- Betrieblicher Unterhalt
- Bauliche Massnahmen
- Antrag det. Überprüfung/ zusätzliche Untersuchungen

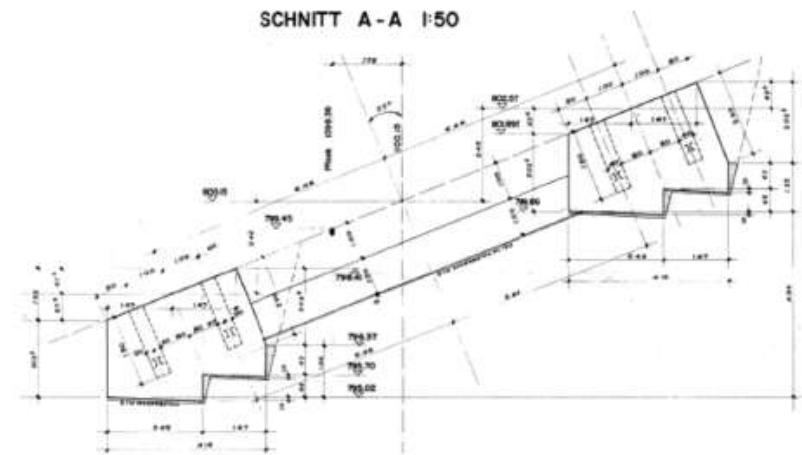
Fundamenttyp: *Type de fondation:*

Flachfundation *Fondation superficielle*

Identifikation:

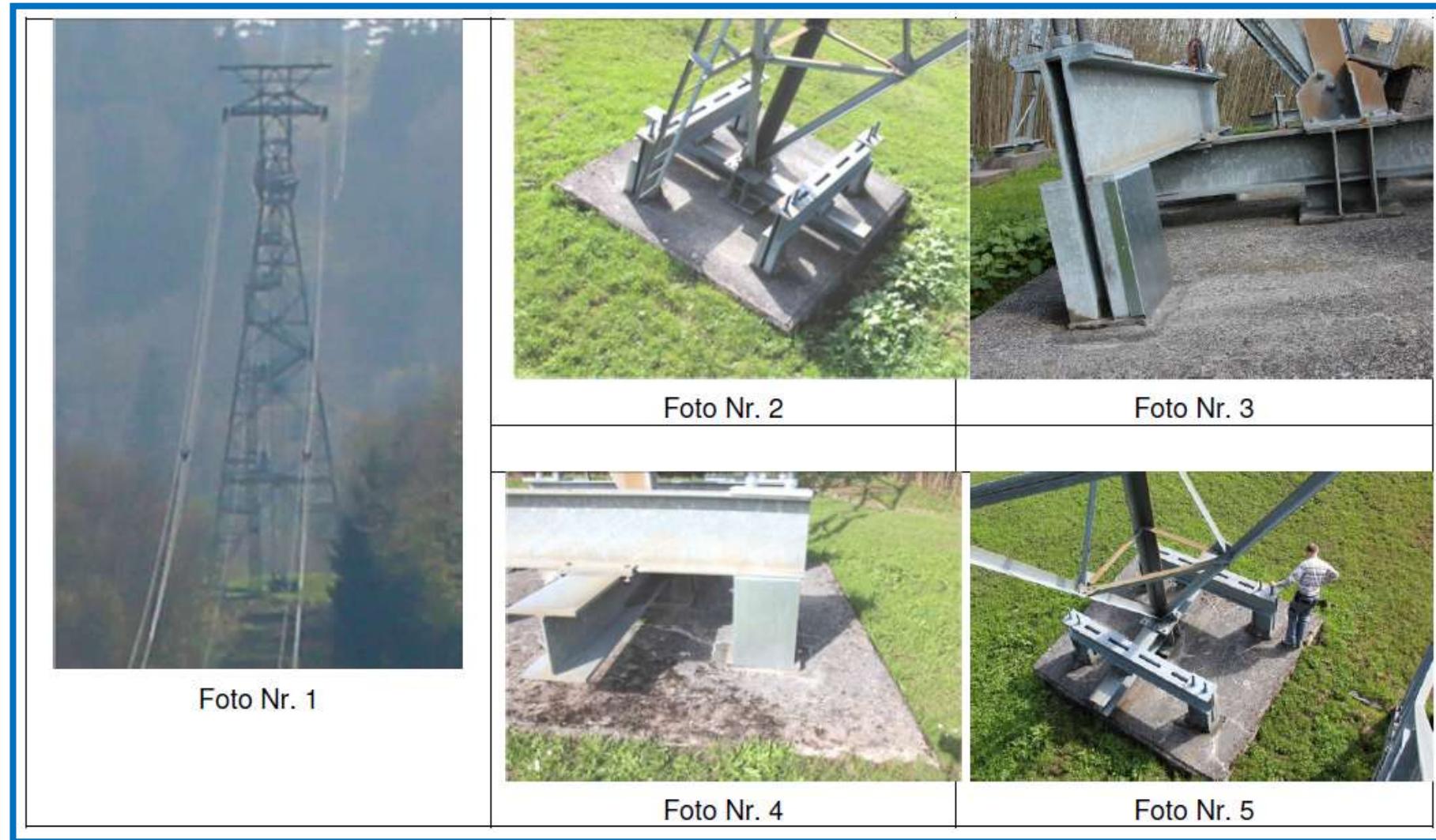
- einbetonierte Ankerstangen (4x2 Stk.) *Tiges d'ancrage bétonnées (4x2 pièces)*
- Bodenanker
- Einzelfundament mit Riegel längs, quer und diagonal
- 4 Einzelfundamente

Längsschnitt



Fondations isolées avec sommiers de liaison longitudinaux, perpendiculaires et en croix

Relevé de l'état (3)



- Désignation des éléments de construction
- Documentation avec photos
- Légendes indispensables pour les non-initiés

Relevé de l'état (4)

FESTSTELLUNGEN

Pas de constatation particulière Keine besonderen Feststellungen

Constatations: *Description des constatations* Beschreibung der Feststellungen (Nächste Seite)
(page suivante)

ZUSTANDBEURTEILUNG

Evaluation de l'état:

Niveau: 1=bon / 2=acceptable / 3=endommagé / 4=mauvais / 5=alarmant

91=pas contrôlable, danger improbable

Beurteilung (mit X markieren)

92=pas contrôlable, danger probable

1 2 3 4 5 91 92

Bemerkungen:

Remarques:

(92) Einbetonierte Ankerstangen

(92) Tiges d'ancrages bétonnées

(92) Bauwerksverschiebungen

(92) Déplacement de l'ouvrage

- Procédé schématique
- Mentions de lacunes

Relevé de l'état (5)

FESTSTELLUNGEN *Constatations* - Partie d'ouvrage: pylône 2

Teilbauwerk: Stütze 2

Partie d'ouvrage / endroit / défaut - dégât / limitation-étendue/ cause /modification/classe d'état

Bauwerksteil	Lokalisierung	Mangel-Schaden	Eingrenzung- Ausdehnung	Ursache	Änderung	Zustands- klassen	Foto
Stützenfuss	Ankerstab	Korrosionsgrad im Über- gang Beton unbekannt	8 Ankerstäbe pro Fun- dament	Feuchtigkeit, Sauerstoff	zunehmend	92	Nr. 6
<i>Pied pylône/tige d'ancrage/état corrosion au niveau béton pas connu / (...)</i>							
Fundamentbeton inkl. Vergussbeton	Betonober- flächen der Fundamente	Schwindrisse, Wasserzu- tritt, Versinterung, teil- weise moosartiger Be- wuchs	lokal, über Oberflächen verteilt	Ausführungsmangel (Risse), Wasserzutritt	Fundament: gleichbleibend Verguss: leicht zunehmend	2	Nr. 7
<i>Béton fondation / (...)</i>							
Stützenverschiebung gem. geodätischer Vermessung	Gesamtes Bauwerk	Keine	Gesamtes Bauwerk	Terrainbewegung	zunehmend	92	-

Déplacement pylône selon mensuration / (...) / (...) / (...) / mouvement de terrain/accélération



Foto Nr. 6



Foto Nr. 7



Foto Nr. 8 (Güteraufzug)

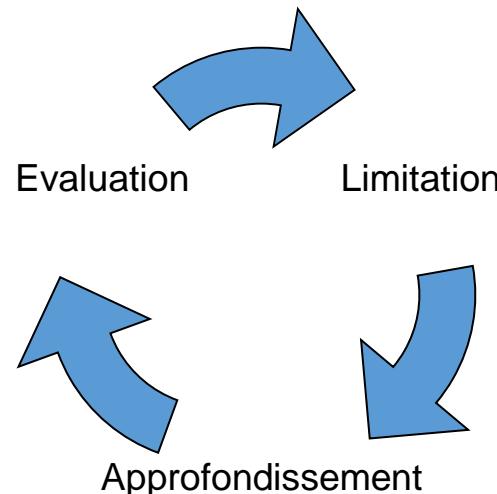


Foto Nr. 9

Examen détaillé

[SIA 269] chiffre 6.1.4

6.1.4.1 On effectuera un examen détaillé lorsque la vérification de la conformité aux exigences requises ne peut pas être démontrée par l'examen général et que les coûts ainsi occasionnés sont justifiés par le bénéfice attendu.



Examen détaillé [SIA 269] annexe A

Relevé de l'état

- Investigations approfondies d'éléments de construction déterminants
- Investigations au moyen d'instruments de mesure
- Essais en laboratoire

6.1.4.2 En règle générale, l'examen détaillé se limitera à des éléments choisis de la structure et pourra s'effectuer par étapes de plus en plus approfondies.

Relevé de l'état (6)

Pylône treillis

Stütze 2, Baujahr 1971 <i>Pylône 2, année de construction 1971</i>		
Mitteilungen und Anträge <input type="checkbox"/> - SOMA, ÜMA <input checked="" type="checkbox"/> - Betrieblicher Unterhalt <input checked="" type="checkbox"/> - Bauliche Massnahmen <input checked="" type="checkbox"/> - Antrag det. Überprüfung/ zusätzliche Untersuchungen	Stütze: Pylône: Pylône treillis Fachwerkstütze mit Treppenanlage Identifikation: <i>avec rampe d'escalier</i> <input checked="" type="checkbox"/> Winkelprofile <i>Profils équerre</i> <input type="checkbox"/> Hohlprofile <input type="checkbox"/> Stahlbauschrauben zoll <input checked="" type="checkbox"/> Stahlbauschrauben metrisch <i>Boulons de charpente métallique, métrique</i> <input type="checkbox"/> HV-Schrauben <input type="checkbox"/> Korrosionsschutz intakt	Längsschnitt 

- Efforts pour l'accès plus importants que pour les fondations

Relevé de l'état (7)



Foto Nr. 1



Foto Nr. 2



Foto Nr. 3



Foto Nr. 4



Foto Nr. 5

Relevé de l'état (8)

FESTSTELLUNGEN

Pas de constatation particulière Keine besonderen Feststellungen

Constatations: Description des constatations Beschreibung der Feststellungen (Nächste Seite)
(page suivante)

ZUSTANDBEURTEILUNG

Evaluation de l'état:

Niveau: 1=bon / 2=acceptable / 3=endommagé / 4=mauvais / 5=alarmant

91=pas contrôlable, danger improbable Beurteilung (mit X markieren)

92=pas contrôlable, danger probable

1 2 3 4 5 91 92

Bemerkungen:

Milchbahn ausser Betrieb.

Korrosionsschutz durch Spezialist beurteilen lassen.

Stützenfussverankerung statisch überprüfen.

Télétransport du lait hors service

Protection contre la corrosion à laisser évaluer par un spécialiste

Ancrages des pieds de pylône à examiner par calculs

FESTSTELLUNGEN *Constatations* - Partie d'ouvrage: pylône 2

Teilbauwerk: Stütze 2

Partie d'ouvrage / endroit / défaut - dégât/limitation-étendue/ cause /modification/classe d'état

Bauwerksteil	Lokalisierung	Mangel-Schaden	Eingrenzung-Ausdehnung	Ursache	Änderung	Zustandsklassen	Foto
Ganze Stütze	zahlreiche Bauteile	Flugrost (kein Materialverlust)	flächig	Feuchtigkeit, Sauerstoff	zunehmend	3	Nr. 9
Ganze Stütze	Verbindungen	Keine HV-Schrauben	-	Stand der Technik	-	3	-
Horizontale Ausfachung beim Knick des Eckstiels	bergseitige Stäbe	2 Verbandstäbe fehlen (rot), durch kürzere „Eckbleche“ ersetzt	lokal	Behinderung der stillgelegten Milchbahn	gleichbleibend	3	Nr. 8
CV horizontal-flambage membrure // 2 barres manquent remplacées par tôles d'angle/ (...)							
Stützenfuss	Fussplatte	Unregelmässige Verankerung, geringe Randabstände	Eckstiel Tal links und Eckstiel Berg rechts	Ungenauigkeit bei der Montage 1971	gleichbleibend	2	Nr. 6
Pied pylône / plaque de base / ancrage irrégulier / (...)							
Stützenfuss	Fussplatte	Spalt 1-4 mm zwischen Fussplatte und Sockel	Einseitig bei jeder Fussplatte	Ungenauigkeit bei der Montage 1971	gleichbleibend	1	Nr. 7
Pied pylône / plaque de base/vide entre plaque et socle/ (...)							
Seilsattel-Halterung	H-Profil	stehendes Wasser	auf bergseitigem Unterflansch	keine Abflussmöglichkeit	gleichbleibend	1	Nr. 9
Support sabot/profil H/eau stagnante/ (...) / pas possibilité d'évacuer / (...)							
Seilschuhträger	Oberseite, Innenseiten	Fettflecken von Tragselbschmierung	-	Bahnbetrieb	-	1	



Foto Nr. 6



Foto Nr. 7



Foto Nr. 8



Foto Nr. 9

Classes d'état (1)

- Pas (plus) de données dans la série de normes SIA 269
- Selon [VSS SN 640 904] différentes classifications
- Classification pour inspections selon [ASTRA 62014] fait école à long terme.

Zustandsklassen ZK Classes d'état CE		
Fahrbahnen Chaussées	Kunstbauten (Bauwerksteile) Ouvrages d'art (parties d'ouvrage)	Technische Ausrüstungen (Anlageteile) Installations électromécaniques (parties d'installation)
Index in $\frac{1}{10}$ Schritten Indices en pas de $\frac{1}{10}$	Ganze Zahlen ohne Zwischenwerte Nombres entiers sans valeurs fractionnées	Index in $\frac{1}{10}$ Schritten Indices en pas de $\frac{1}{10}$

FS Funktionssicherheit

SF Sécurité fonctionnelle

Abb. 6
Beispiele von Bewertungsmassstäben der Zustandsklassen ZK

Fig. 6
Exemples d'échelles d'évaluation des classes d'état CE

Classes d'état (2)

[ASTRA 62014] page 14
[\[ZB\] page 33](#)

Classe d'état	Description de l'état	Caractéristique de l'état	Recommandations de mesures
1	En bon état	Pas de dommage ou dommages minimes	Pas de mesure dans la période
2	En état acceptable	Dommages peu significatifs	Eventuelles mesures dans la période
3	En état détérioré	Dommages significatifs	Mesures dans la période
4	En mauvais état	Dommages importants	...
5	En état alarmant	La sécurité est mise en danger	Mesures exigées avant la prochaine inspection principale; mesures urgentes
9	Etat non examinable	Pour objets d'infrastructure sans possibilité d'inspection (éléments d'ouvrage)	
91	Danger improbable		
92	Danger probable		

Classes d'état (3)

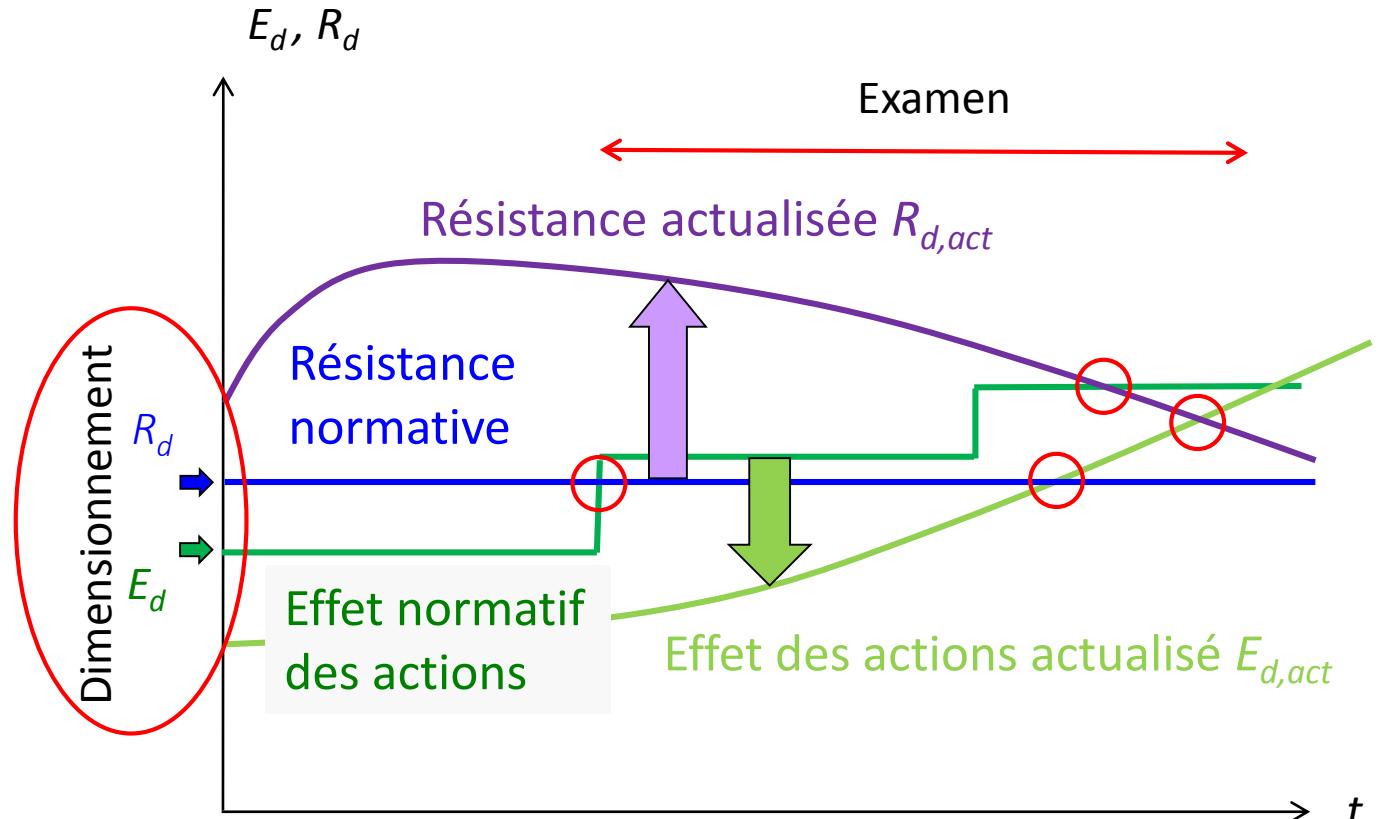
[ZB] page 33

Partie d'installation	Classe d'état		Remarques
	général	Élément individuel	
Station aval	2	3	...
Pylône 1	3	92	...
Pylône 2	3	92	Tiges d'ancrages bétonnées non contrôlables. Déplacement d'ouvrage. Surveillance. Corrosion superficielle (pas de perte de matière) sur de nombreux éléments. Toutes les liaisons avec des boulons de charpente métallique. 2 barres de contreventement manquantes. Ancrage du pied de pylône à examiner par calculs.
Pylône 3	3	92	...
Pylône 4	3	92	...
Station amont	2	3	

Evaluation de l'état

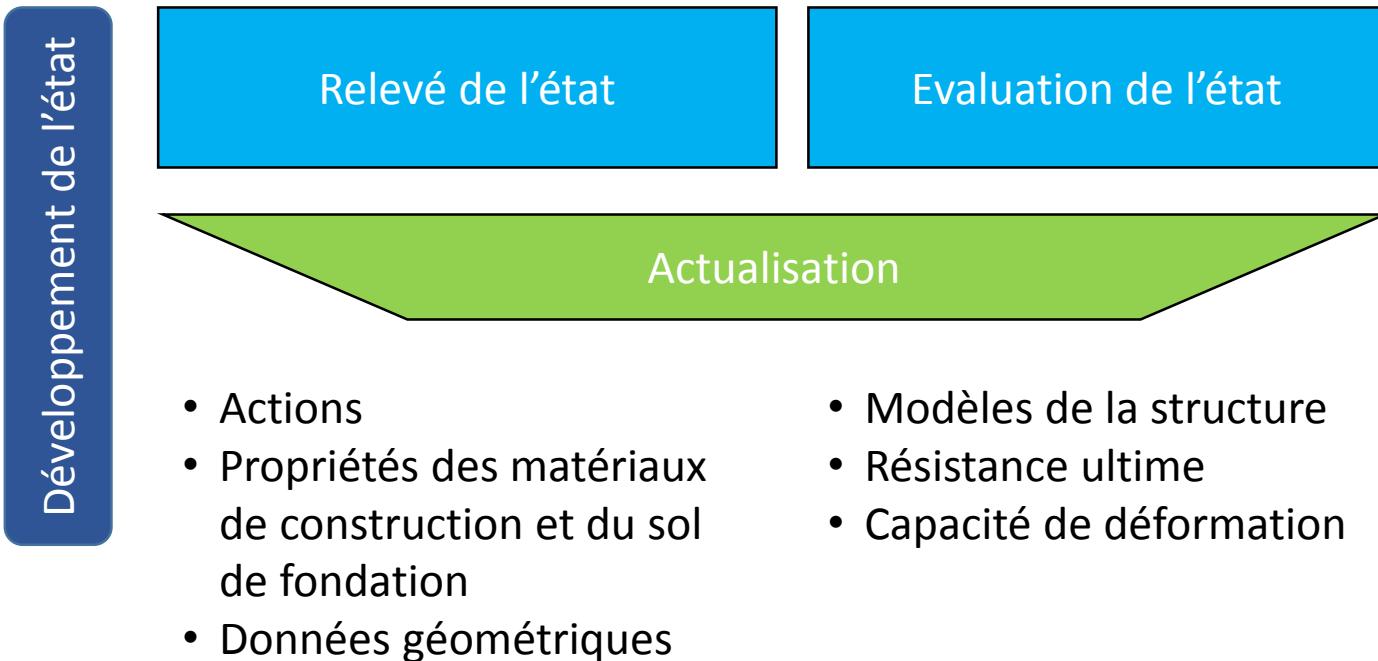
Méthode

- Analyse quantitative ([SIA 269] chiffre 6.3.2)
 - Vérification de la sécurité structurale et de l'aptitude au service
 - Comparaison «effets des actions – résistance» (sécurité structurale)
 - Comparaison «effets des actions – limites de service» (aptitude au service)
- Analyse empirique ([SIA 269] chiffre 6.3.3)
 - Présomption d'une sécurité structurale suffisante (conditions satisfaites)
 - Mesures de sécurité supplémentaires
- Prévisions sur l'évolution de l'état ([SIA 269] chiffre 6.3.4)



Actualisation

- Définition
 - «Processus consistant à compléter les données existantes par de nouvelles informations.» [SIA 269]



Actualisation des actions (1)

Année de construction 1971:
Normes sur les actions en
vigueur: [SIA 160:1970]

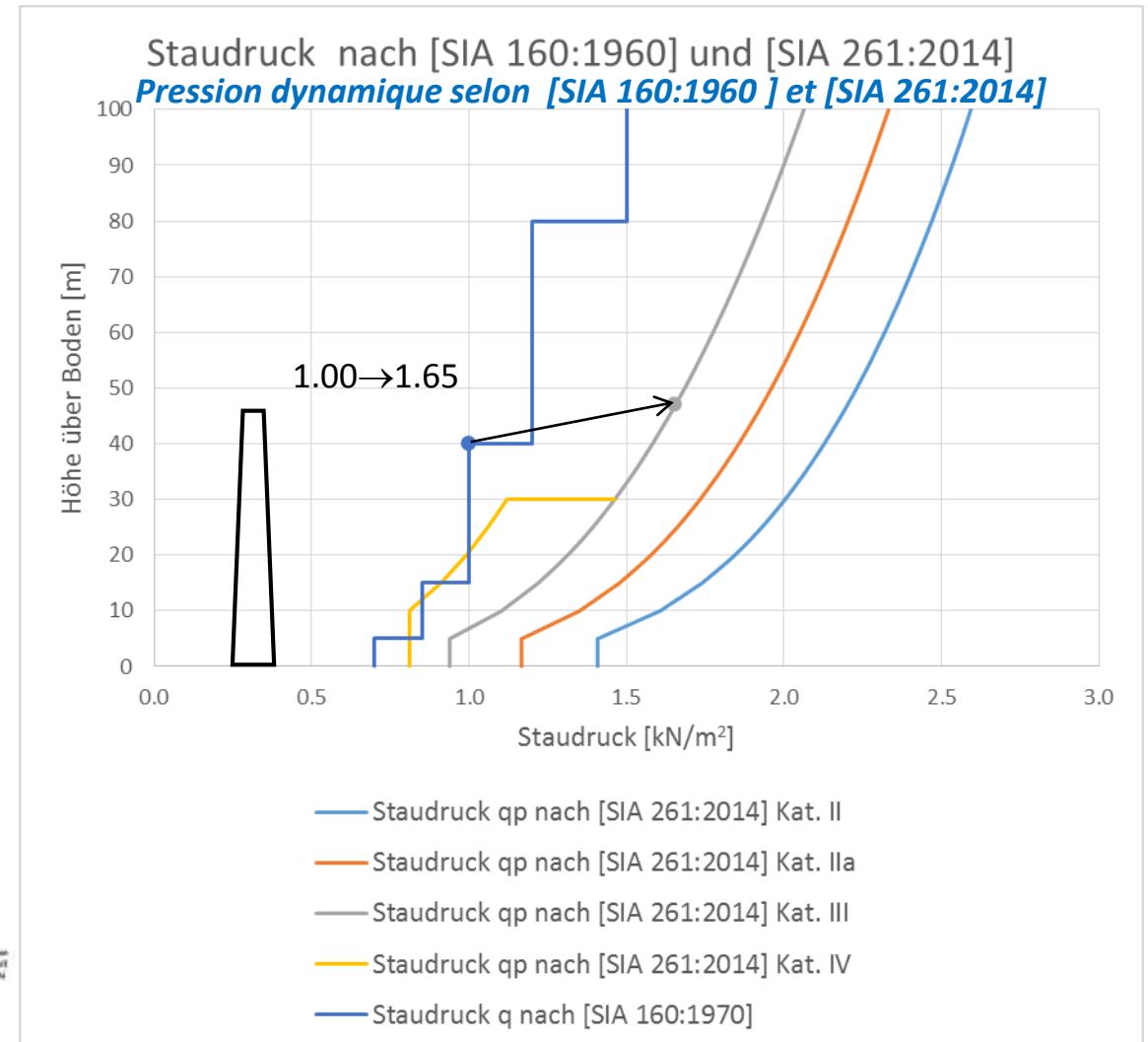
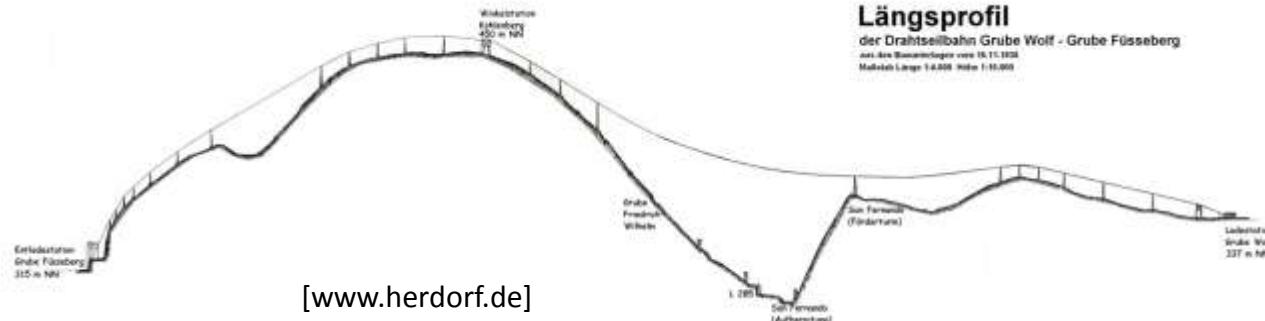
- Poids propre
 - Eléments en acier avec poids volumique γ
 - Supplément global 10% pour éléments porteurs secondaires
- Poids propre non structural
 - Câble Telecom avec charge linéaire g_1 [kN/m]
 - Galets de câble dans les sabots des câbles porteurs avec charge linéaire g_2 [kN/m]
- Actions des câbles
 - Données du constructeur
- Charges du trafic
 - Coefficient dynamique poids véhicule $\gamma = 1.2$
 - Pour la vérification de la sécurité structurale
 - Pour la vérification de la fatigue
- Charge de givre
 - Poids volumique γ_{eis} [kN/m³]
 - Installation hors exploitation: Câbles porteurs, tracteurs, Telecom
 - Installation en exploitation: seulement câble Telecom (selon expériences d'exploitation)
- Séisme
 - Classe d'ouvrage 2
 - Zone Z2
 - Classes de terrain de fondations A et C
- Force du frein de chariot
 - $F_{B,nom} = 198$ kN (avant 180 kN)
 - Effet sur le sabot de câbles direction aval

Frottement (resp. \pm)		Câble porteur	Câble tracteur
Coefficient frottement	μ [-]	0.1	0.03
Facteur de charge	γ [-]	2.5	1.5

Actualisation des actions (2)

Année de construction 1971:
Normes sur les actions en
vigueur: [SIA 160:1970]

- Vent contre les câbles
 - Actions actualisées plus importantes et plus nuancées
 - Selon [SIA 269/1], [SIA 261] est aussi valable pour les ouvrages existants
 - Hauteur du pylône: 47 m
 - Actualisation par prise en compte approfondie de la norme [SIA 261:2003]:
 - Interpolation z sur les longueurs des portées



Actualisation des actions (3)

Valeurs d'examen du projeteur		Station aval	Pylône 2		Station amont
Portée du câble		amont	aval (portée 2)		aval
Hauteur moyenne portée, z	[m]	15.3	49.6	52.0	20.5
Hauteur du gradient z_g catégorie de terrain III	[m]		450		$c_h = 1,6 \left[\left(\frac{z}{z_g} \right)^{\alpha_r} + 0,375 \right]^2$
Rugosité du sol	[\cdot]		0.23		
Coefficient du profil C_h	[\cdot]	1.11	1.53	1.55	1.20
Valeur de référence pression dynamique q_{p0}	[kN/m^2]	1.10 (selon carte de vent [SIA 261:2014] annexe E)			
Pression dynamique q_p	$q_p = c_h q_{p0}$ [kN/m^2]	1.23	1.68	1.70	1.32
Densité de l'air ρ	[kg/m^2]	1.156	1.077	1.077	1.002
Vitesse du vent v	[km/h]	166	201	202	185

Actualisation des actions (4)

- Vent contre les câbles
(marche à suivre recommandée)
 - EN 12 930:2015 chiffre 6.5.4 b)
 - SN EN 13107:2004 NA:
Définition des actions du vent locales:
 - Les dispositions appropriées de la norme SIA 261

[SIA D 0188]

Kommentar zum Kapitel 6 (Wind) der Normen SIA 261 und 261/1 (2003) *n'existe qu'en allemand: Commentaire sur le chapitre 6 (vent) des normes SIA 261 et 261/1 (2003)*

- Kap. 6.5 Druckbeiwerte und Kraftbeiwerte (SIA 261 Zif. 6.2) *Chapitre 6.5 Coefficients de pression et coefficients de force*
- Reynolds-Zahl: *nombre de Reynolds*
Rapport entre les forces d'inertie et les forces visqueuses

Hors exploitation la valeur minimale de la pression du vent $q = 1,20 \text{ kN/m}^2$, sauf à prendre d'autres valeurs en raison soit de l'implantation spécifique de l'installation soit de réglementations ou prescriptions nationales applicables aux remontées mécaniques.

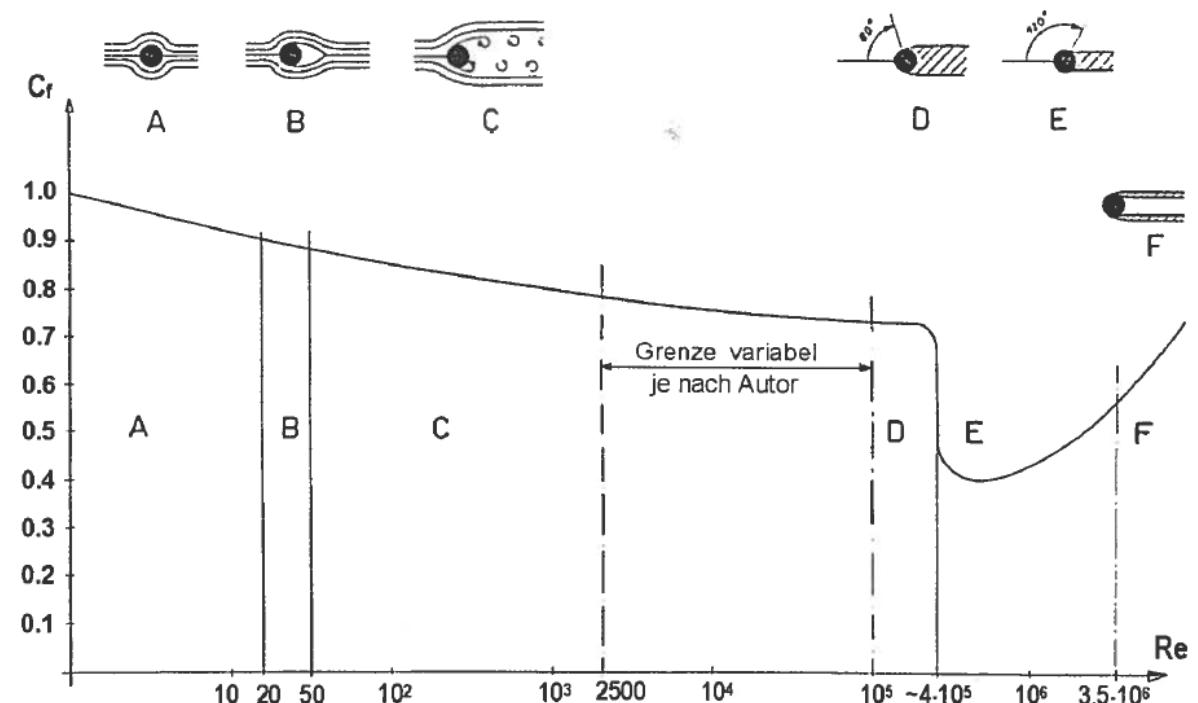


Bild 77 Strömung um Zylinder (Kraftbeiwert als Funktion der Reynolds-Zahl)
Courbe de trainée du cylindre (coefficient de force en fonction du nombre de Reynolds)

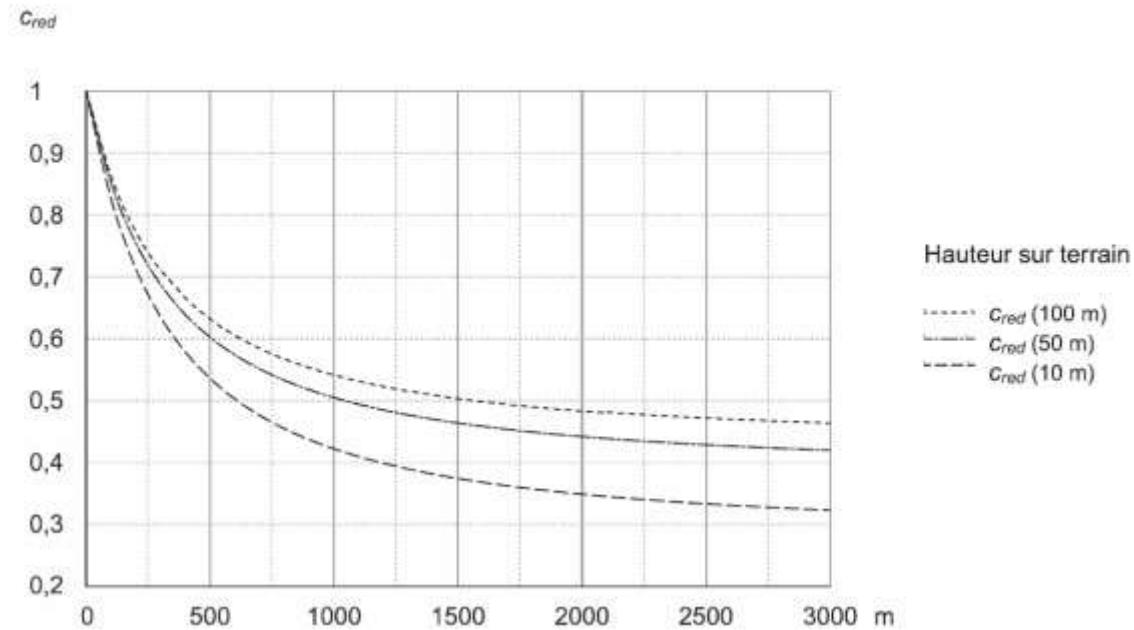
Actualisation des actions (5)

- Vent contre les câbles (marche à suivre recommandée)

- SIA 261:2014 Tableau 72
 - Coefficient de force global c_f en fonction du type de câble et du nombre de Reynolds
 - Nombre de Reynolds maintenant dépendant aussi de z et α_r

$d\sqrt{q_{p0}} \left(\frac{z}{10}\right)^{\alpha_r}$	Coefficients de force c_f				
	Surface de référence = $d \cdot l$ (d = diamètre, l = longueur, les deux en m)				
$\leq 0,07$	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3
$> 0,07$	0,5	0,7	0,6	0,9	1,1
	○ fils et barres lisses, tubes	○ fils et barres peu rugueux			
	câbles conducteurs ou porteurs lisses	câbles conducteurs ou porteurs à torons fins	câbles conducteurs ou porteurs à torons fins	câbles conducteurs ou porteurs à gros torons	

Câbles tendus, catégorie de terrain III, $\alpha_r = 0,23$



- Facteur de réduction c_{red} en fonction de la hauteur au-dessus du terrain et de la longueur de la portée (diagramme pour la catégorie de terrain III)

Actualisation des actions (6)

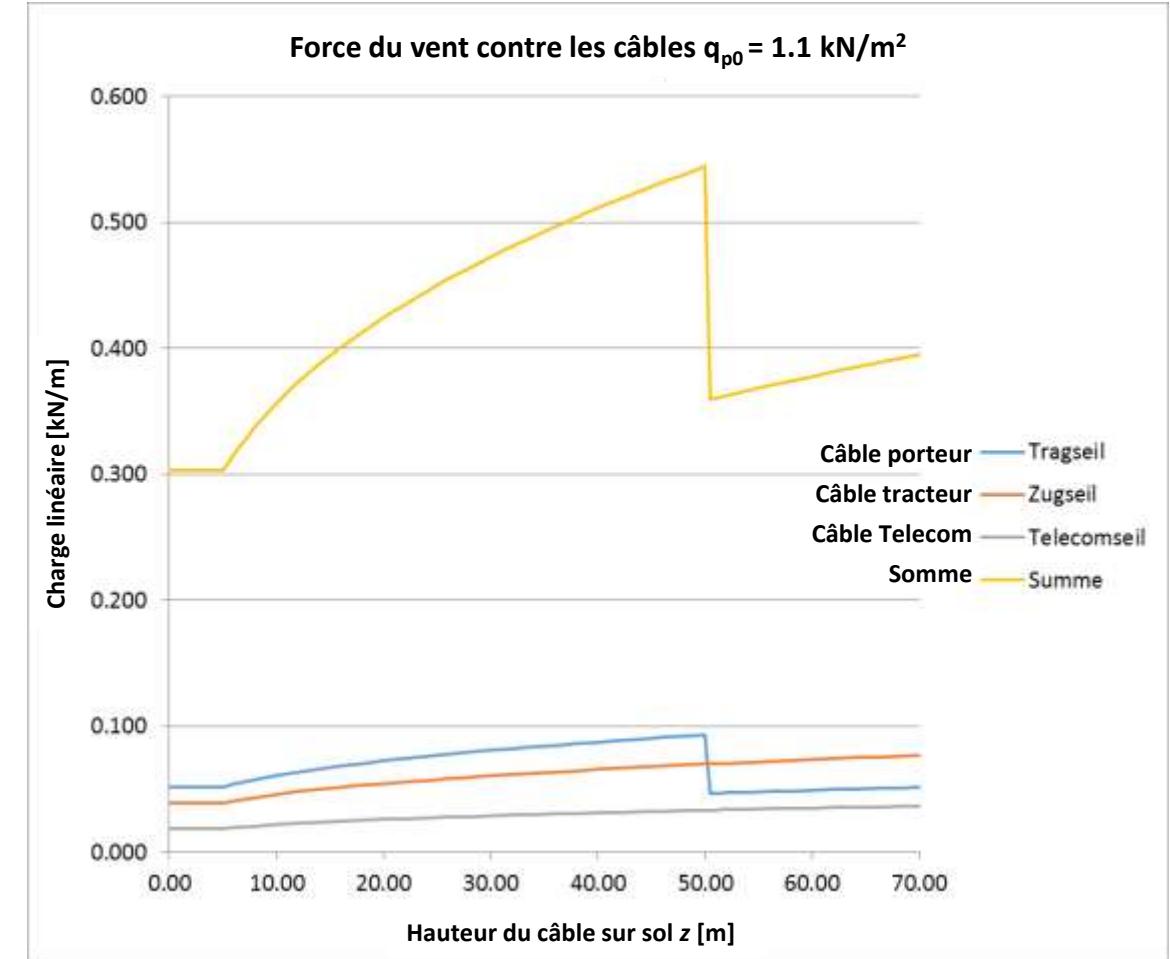
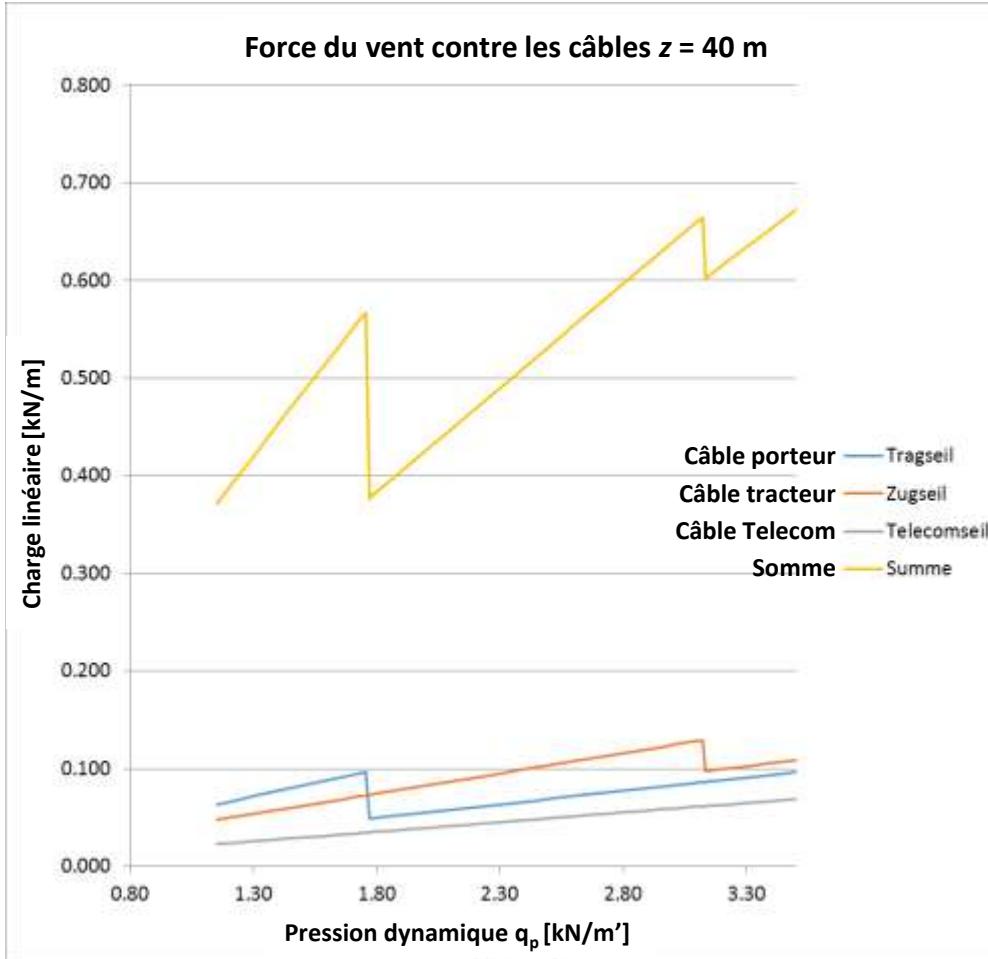
$$q_k [\text{kN/m}] = c_{red} c_d c_f q_p d$$

<i>Compléments du conférentier</i>			Station aval	Pylône 2		Station amont	
Portée du câble			amont	aval (portée 2)	amont (portée 3)	aval	
Longueur de la portée (oblique)		[m]	128	994	862	172	
Pression dynamique q_p		[kN/m ²]	1.23	1.68	1.70	1.32	
$d \sqrt{q_{p0}} \left(\frac{z}{10} \right)^{\alpha_r}$	Câble porteur		0.0532	0.0697	0.0705	0.0635	
	Câble tracteur		0.0399	0.0523	0.0529	0.0476	
	Câble Telecom		0.0190	0.0249	0.0251	0.0226	
Coef-ficient force c_f	Valeur critique: 0.07	Câble porteur	clos	1.2	1.2	0.6	
		Câble tracteur	à toron	1.2	1.2	1.2	
		Câble Telecom	à toron	1.2	1.2	1.2	
Facteur de réduction c_{red} (SIA 261:2014, tableau 72)			0.85	0.55	0.55	0.80§	
Facteur de réduction β de EN 12 930 comme comparaison			0.93	0.61	0.61	0.90	

Actualisation des actions (7)

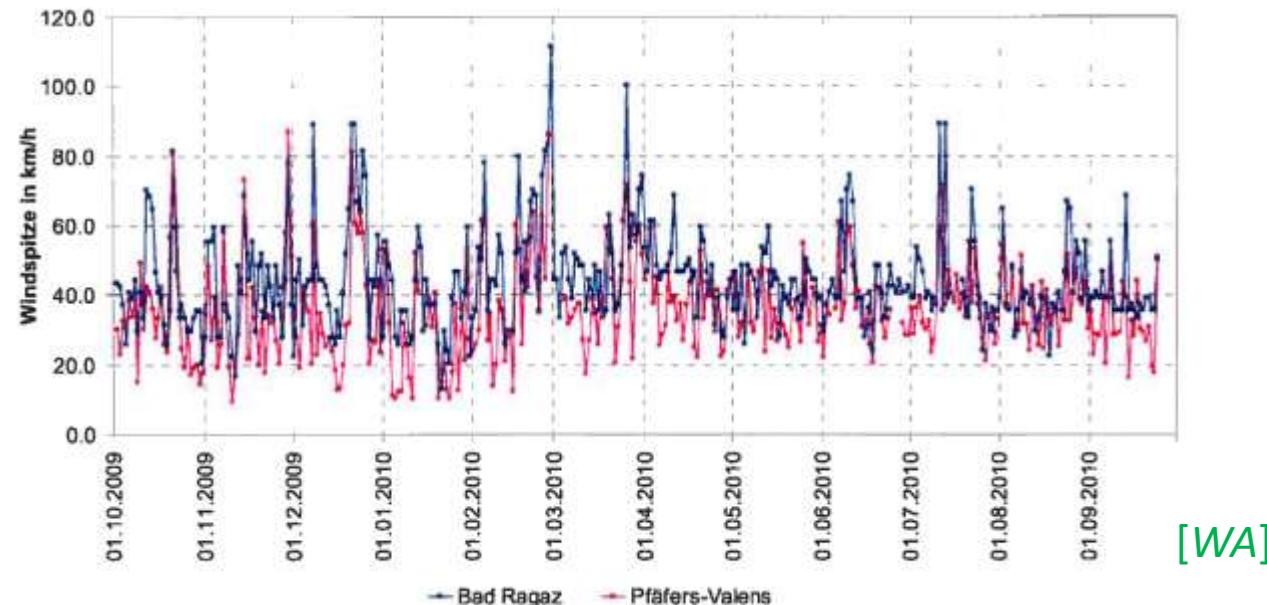
$$q_k [\text{kN/m}] = c_{red} c_d c_f q_p d$$

- Le comportement turbulent peut-il être pris en compte?

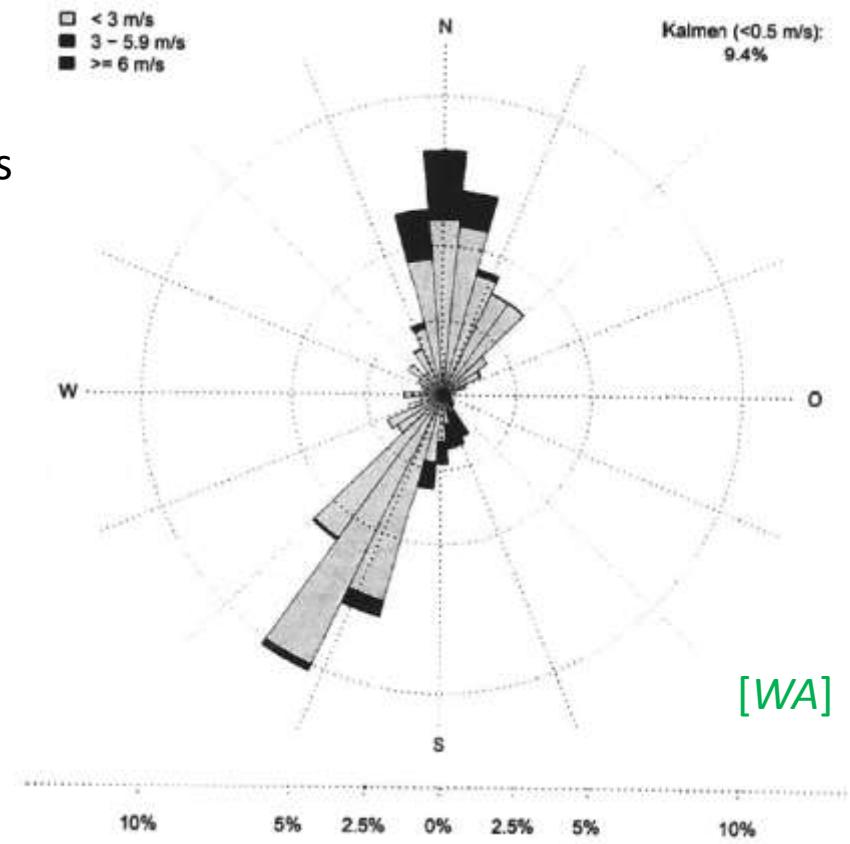


Actualisation des actions (8)

- Vent contre les câbles (actualisation complémentaire)
 - Mesures locales du vent sur le lieu
 - Force et direction du vent
 - Fiabilité des instruments de mesures
 - Enregistrement des données en cas de tempête
 - Corrélation entre les stations de mesures sur de longues périodes



- Exemple
 - Pont de Tamina - Pfäfers
 - Corrélation avec la station de mesures MeteoSuisse - Bad Ragaz



Actualisation des propriétés des matériaux de construction et du sol de fondation (1)

- Identification des matériaux de construction, resp. des classes de sol de fondation



- Nouvelle détermination des propriétés dans le cadre du relevé de l'état

Actualisation des propriétés des matériaux de construction et du sol de fondation (2)

- Identification selon dossier ouvrage
 - Année de construction 1971
 - Normes en vigueur à l'époque
 - Construction en béton: SIA 162:1968 (fondation pylône 2)
 - Construction en acier: SIA 161:1956 (pylône 2)
 - Matériaux utilisés:
 - Sorte de béton: BH 300 kg CP/m³
 - Acier à béton: Torstahl 50 (IIIb)
 - Tirants: inconnu; hypothèses du côté de la sécurité: St 37
 - Acier de construction: St 37
 - Boulons: SBS 4.6
- Propriétés des matériaux selon les exigences de l'époque
 - Béton [SIA 269/2]
 - Valeur caractéristique (fractile 5%) résistance à la compression $f_{ck} = 19.2 \text{ N/mm}^2$
 - Valeur d'examen selon annexe A tableau 7 $f_{cd} = 12.8 \text{ N/mm}^2$; $\tau_{cd} = 0.88 \text{ N/mm}^2$
 - Acier à béton [SIA 269/2]
 - Valeur caractéristique (fractile 5%) Limite d'écoulement $f_{sk} = 450 \text{ N/mm}^2$
 - Valeur d'examen selon annexe A tableau 8 $f_{sd} = 390 \text{ N/mm}^2$
 - Acier de construction [SIA 269/3]
 - Acier de construction récent selon tableau 1
 - Propriétés mécaniques selon [SIA 263]
 - Boulons [SIA 269/3]
 - Attribution de la classe de résistance 4.6 selon chiffre 3.3.2.2

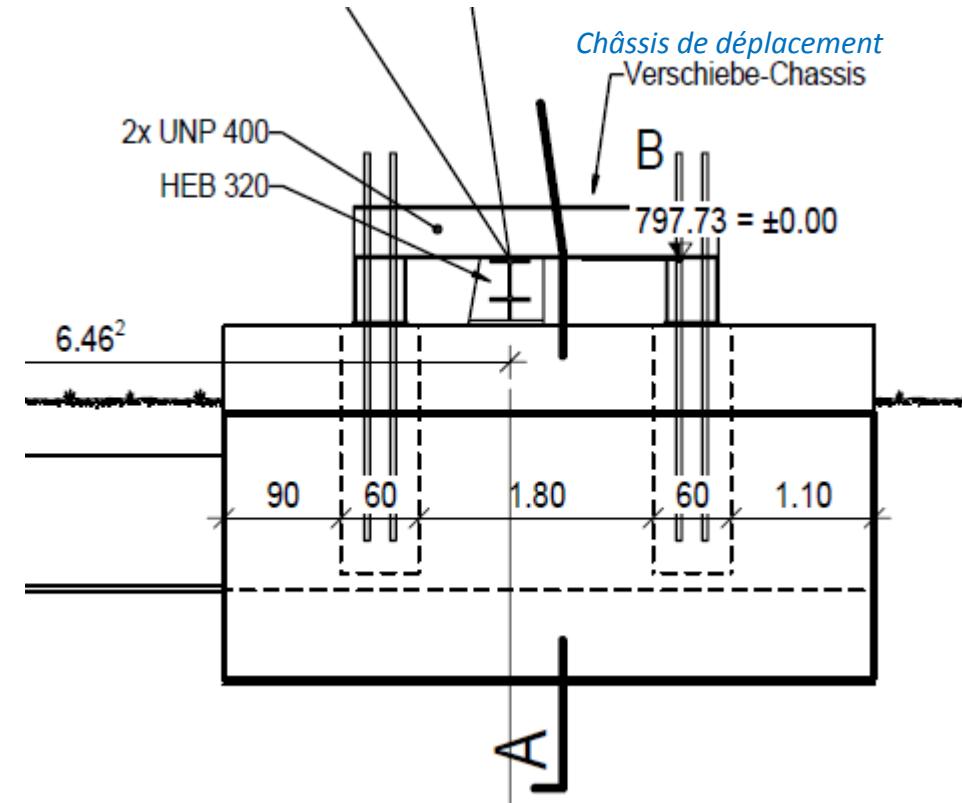
Actualisation des propriétés des matériaux de construction et du sol de fondation (3)

- Actualisation de la résistance à la compression du béton avec [SIA 269/2]
 - Contrôle indirect sur l'ouvrage
 - Valeurs moyennes venant du contrôle avec scléromètre
 - 32, 33, 40 N/mm²
 - Estimation calculée de l'augmentation de la résistance à la compression
 - $f_{cd,28} = 12.8 \text{ N/mm}^2$
(BH armé $\geq 300 \text{ kg ciment/m}^3$)
 - $f_{cm,28} = f_{ck} + 8.0 = 27.2 \text{ N/mm}^2$
 - Age du béton 43 ans ($\approx 15'700$ jours)
 - Formule 1 (269/2) donne un facteur d'augmentation 2.13
 - $f_{cm}(43 \text{ a}) = 57.9 \text{ N/mm}^2$
 - $f_{ck}(43 \text{ a}) = f_{cm}(43 \text{ a}) - 8.0 = 49.9 \text{ N/mm}^2$
 - $\eta_{cd} = 0.844$; $\eta_t = 1.0$; $\gamma_c = 1.5$
 - $f_{cd,act} = 28.1 \text{ N/mm}^2$
 - $\tau_{cd,act} = 1.41 \text{ N/mm}^2$

	Norme	Formule
$f_{cm} = f_{ck} + 8 \text{ N/mm}^2$	SIA 262	(6)
$f_{cm}(t) = f_{cm,28} \cdot 0,41 \cdot [(\log t) + 1]$	SIA 269/2	(1)
$f_{cd} = \frac{\eta_{fc} \eta_t f_{ck}}{\gamma_c}$	SIA 262	(2)
$\eta_{cd} = \left(\frac{30}{f_{ck}} \right)^3 \leq 1,0$	SIA 262	(26)
$\tau_{cd} = \frac{0,3 \eta_t \sqrt{f_{ck}}}{\gamma_c}$	SIA 262	(3)

Actualisation des données géométriques

- Sol de fondation
 - Mouvements de reptation attendus
 - Tassements avec causes indépendantes de l'ouvrage et déplacements déterminés par géodésie
 - Déplacement pylône 2 1971-2013: 1.31 m
- Recouvrement de l'armature par béton
 - Calcul rétroactif avec les listes d'armature



Actualisation du modèle de la structure et de la capacité de déformation

- Pylône treillis
 - Actualisations optimisées
 - Calcul avec programme statique de barres
 - (partiellement) longueurs de flambage réduites pour les barres de treillis selon [SIA 263:2013]
Tableau 13
 - Classe de section 2
 - Détermination élastique des efforts intérieurs
 - Détermination plastique de la résistance ultime des sections
 - Courbes de flambage [SIA 263:2013] figure 7
 - 3% de la force des barres maintenues pour les treillis secondaires
 - Actualisations approfondies
 - Prise en compte de la rigidité des noeuds
 - Contraintes secondaires
 - Plus petites longueurs de flambage
 - Calcul 2^{ème} ordre
 - Introduction des imperfections équivalentes

Situations de dimensionnement

Situation de danger	Etat / durée	Action prépondérante	Action concomitante	Acti. permanentes
GB 1	En exploitation Transitoire	Ensemble des actions propre du téléphérique		
GB 2	Hors exploitation Transitoire	Vent / givre	Neige / charge utile, vent / givre, température	
GB 3	Hors exploitation Transitoire	Neige / charge utile		Poids propre, poids propre des éléments non structuraux, poussée des terres, déplacement des appuis
GB 4	Hors exploitation Transitoire	Montage / maintenance Levage de câble (chargement d'un côté)	Vent(réduit), ensemble des actions propre du téléphérique, température	
GB 5	Hors exploitation Accidentelle	Séisme		
GB 6	En exploitation Accidentelle	Freins de chariot (choc contre étaux de maintien des câbles porteurs)	Neige / charge utile, vent / givre, température	
GB 7	en/hors exploitation Accidentelle	Déraillement de câbles		

Vérification déterministe de la sécurité structurale (1)

- Etat-limite Type 1
 - Stabilité d'ensemble d'une structure porteuse
 - **Basculement / soulèvement d'une fondation**
- Etat-limite Type 2
 - Atteinte de la résistance ultime de la structure porteuse ou d'un de ses éléments
 - Défaillance de barres de treillis en traction / compression avec flexion
 - Défaillance de liaisons
 - Défaillance du châssis déplaçable / tiges d'ancrage
 - Reprise de la force des tiges d'ancrages
 - Rupture du béton et/ou de l'acier des sommiers de liaison
 - Poinçonnement et glissement des fondations
- Etat-limite Type 3
 - Atteinte de la résistance ultime du terrain de fondation
 - **Rupture de sol**
 - **Rupture de talus**
- Etat-limite Type 4
 - Atteinte de la résistance à la fatigue de la structure porteuse ou d'un de ses éléments
 - **Pas étudiée**

Vérification déterministe de la sécurité structurale (2)

- Facteurs de charge, de réduction et de combinaison pour état-limite Type 1

Situation de danger / action prépondérante	1 Actions des câbles		2 Vent		3 Freins de chariot	Source	
Etat d'utilisation	En exploitation		Hors exploitation		En exploitation	[SIA 260]	
Actions permanentes	$\gamma_{G,inf,act}$	$\gamma_{G,sup,act}$	$\gamma_{G,inf,act}$	$\gamma_{G,isup,act}$	$\gamma_A \psi_2$	[SIA 269]	
<ul style="list-style-type: none"> Poids propre structure porteuse Poids propre non structural câble Telecom 	0.90	1.10	0.90	1.10	1.00	[EN 13107]	
	0.95	1.05	0.95	1.05			
Actions variables	$\gamma_{Q,inf}$	$\gamma_{Q,sup}$				Bureau d'ingénieur	
<ul style="list-style-type: none"> Actions des câbles en exploitation (câbles+véhicules) 	0.90	1.50			1.00		
<ul style="list-style-type: none"> Actions des câbles hors exploitation (câbles) <i>en fait actions permanentes</i> 	-	-	0.90	1.10		*) $\frac{0.95}{1.5} \cdot 2.5$	
			0.95	1.05			
<ul style="list-style-type: none"> Frottement câble porteur / câble tracteur 	2.50		1.58*)	1.75**)	1.00		
<ul style="list-style-type: none"> Vent en exploitation (pylônes+câbles+véhicules) perpendiculaire 	$\gamma_Q \psi_0 = 1.5 \cdot 0.8 = 1.2$				0.40		
<ul style="list-style-type: none"> Vent hors exploitation (pylônes +câbles) perpendiculaire 	-	-	1.50			**) $\frac{1.05}{1.5} \cdot 2.5$	
Actions accidentielles					γ_A		
<ul style="list-style-type: none"> Freins de chariot (contre étaux) en exploitation 					1.50		

Vérification déterministe de la sécurité structurale (3)

- Facteurs de charge, de réduction et de combinaison pour état-limiteType 2

Situation de danger / action prépondérante	1 Actions des câbles		2 Vent		3 Freins de chariot	Source	
Etat d'utilisation	En exploitation		Hors exploitation		En exploitation	[SIA 260]	
Actions permanentes	$\gamma_{G,inf,act}$	$\gamma_{G,sup,act}$	$\gamma_{G,inf,act}$	$\gamma_{G,isup,act}$	$\gamma_A \Psi_2$	[SIA 269]	
<ul style="list-style-type: none"> Poids propre structure porteuse Poids propre non structural câble Telecom 	1.00	1.35	1.00	1.35	1.00	[EN 13107]	
	0.90	1.20	0.90	1.20			
Actions variables	$\gamma_{Q,inf}$	$\gamma_{Q,sup}$				Bureau d'ingénieur	
<ul style="list-style-type: none"> Actions des câbles en exploitation (câbles+véhicules) 	0.90	1.50			1.00		
<ul style="list-style-type: none"> Actions des câbles hors exploitation (câbles) <i>en fait actions permanentes</i> 	-	-	1.00	1.35			
			0.90	1.20			
<ul style="list-style-type: none"> Frottement câble porteur / câble tracteur 	2.50		1.50*)	2.00**)	1.00		
<ul style="list-style-type: none"> Vent en exploitation (pylônes+câbles+véhicules) perpendiculaire 	$\gamma_Q \Psi_0 = 1.5 \cdot 0.8 = 1.2$				0.40		
<ul style="list-style-type: none"> Vent hors exploitation (pylônes +câbles) perpendiculaire 	-	-	1.50				
Actions accidentielles					γ_A		
<ul style="list-style-type: none"> Freins de chariot (contre étaux) en exploitation 					1.50		

$$*) \frac{0.9}{1.5} \cdot 2.5$$

$$**) \frac{1.2}{1.5} \cdot 2.5$$

Vérification déterministe de la sécurité structurale (4)

- Facteurs de charge, de réduction et de combinaison pour état-limite Type 3

Situation de danger / action prépondérante	1 Actions des câbles		2 Vent		3 Freins de chariot	Source
Etat d'utilisation	En exploitation		Hors exploitation		En exploitation	[SIA 260]
Actions permanentes	$\gamma_{G,inf,act}$	$\gamma_{G,sup,act}$	$\gamma_{G,inf,act}$	$\gamma_{G,isup,act}$	$\gamma_A \psi_2$	[SIA 269]
<ul style="list-style-type: none"> Poids propre structure porteuse Poids propre non structural câble Telecom 	1.00		1.00		1.00	[EN 13107]
	1.00		1.00			
Actions variables	$\gamma_{Q,inf}$	$\gamma_{Q,sup}$				Bureau d'ingénieur
<ul style="list-style-type: none"> Actions des câbles en exploitation (câbles+véhicules) 	1.50				1.00	
<ul style="list-style-type: none"> Actions des câbles hors exploitation (câbles) <i>en fait actions permanentes</i> 	-	-	1.00	1.00		
<ul style="list-style-type: none"> Frottement câble porteur / câble tracteur 	2.50		1.67*)		1.00	
<ul style="list-style-type: none"> Vent en exploitation (pylônes+câbles+véhicules) perpendiculaire 	$\gamma_Q \psi_0 = 1.5 \cdot 0.8 = 1.2$				0.40	
<ul style="list-style-type: none"> Vent hors exploitation (pylônes +câbles) perpendiculaire 	-	-	1.50			
Actions accidentielles					γ_A	
<ul style="list-style-type: none"> Freins de chariot (contre étaux) en exploitation 					1.50	

$$*) \frac{1.0}{1.5} \cdot 2.5$$

Vérification déterministe de la sécurité structurale (5)

$$n = \frac{R_{d,act}}{E_{d,act}}$$

- Pylône 2, état-limite Type 2, degré de conformité n (extrait)

Elé- ment	Profilé	cote [m]	GB	M, N, V	E_d [kNm, kN]	Résistance R_d [kNm, kN]			Degré de conformité n		
						Stabilité	Liaison	Résistance	Stabilité	Liaison	Résistance
Ancrage du pied	Socle	2	N	-1'773				3'000			1.69
	HEB 320		M								0.83
	2xUNP 400		M								1.20
	Tiges d'ancrage	1-3	$N(P)$	-448				502			1.12
	Ancrage dans le béton	1-3	$N(P)$	-448				530			1.18
	Joint de poutre	2	N	-1'257		séparée	1'020				0.75
Membrures	LNP 200x20	0 à +2.5	N	-1'773	1'240		1'709	0.70			0.96
		+2.5 à +5.0									
		+5.0 à +7.5	N	-1'773	1'313		1'709	0.74			0.96
		+7.5 à +10.0									
		+10.0 à +12.0	N	-1'763	1'439		1'709	0.82			0.97
		+12.00 à 14.0									
		+14.0 à 16.0	N	-1'636	1'439	1'740	1'709	0.88	1.06		1.04

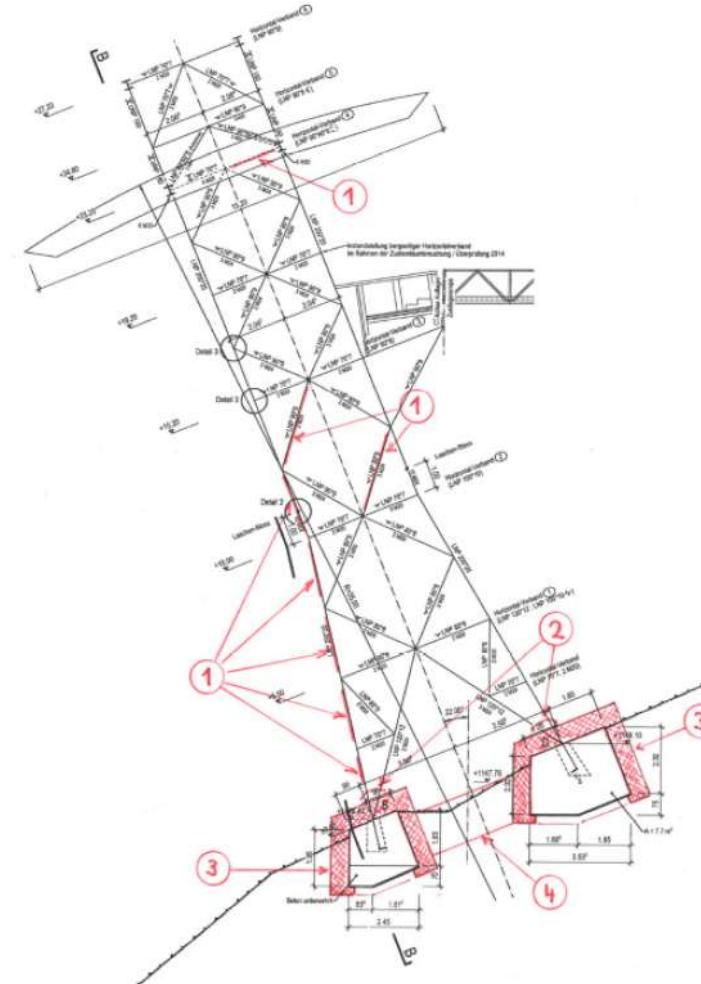
Vérification déterministe de la sécurité structurale (6)

- Fondation pylône 2 (fondations avec sommiers), degré de conformité n et contraintes au sol

Défaillance	Etat-limite	Actions câbles en exploitation	Vent hors exploitation	Freins de chariot en exploitation	Remarques
Soulèvement	Type 1	$n > 1.0$	$n > 1.0$	$n > 1.0$	
Basculement	Type 1	$n > 1.0$	$n > 1.0$	$n > 1.0$	
Glissement	Type 2	$n > 1.0$	$n > 1.0$	$n > 1.0$	Degré de conformité n
Poinçonnement	Type 2	$n > 1.0$	$n > 1.0$	$n > 1.0$	
Ancrages membrures	Type 2	$n > 1.0$	$n > 1.0$	$n > 1.0$	
Résistance en section des sommiers	Type 2	$n > 1.0$	$n > 1.0$ $n = 0.6^*)$	$n > 1.0$	$^*)$ Sommiers de liaison longitudinaux et transversaux
Contraintes au sol maximale à l'arête	Valeur caractéristique	60 kN/m^2	130 kN/m^2	-	

Mesures de renforcement

- 4 pylônes treillis
 - Doublement sections d'acier ①
 - Remplacement diagonales ou barres secondaires par profilés plus forts
 - Remplacement boulons de charpente métallique par boulons à haute-résistance précontraints
- Liaison pylône-fondation
 - Liaison solidaire par leur doublement ② et plaque d'ancrage
 - Contrôle état tiges d'ancrage
- Renforcement fondations
 - Enrobage avec nouveau béton ③
 - ... (pylônes 1, 3 et 4)
 - Augmentation résistance en section sommiers pylône 2 ④



Legende:

- ① Verstärkung Stahlstütze mittels Aufdoppeln oder Ersatz von Stahlprofilen
- ② Neue Verbindung Stütze – Fundament
- ③ Verstärkung Fundation durch zusätzliche Ummantelung mit Beton
- ④ Verstärkung Fundation mit Verbindungsriegeln

Vérification probabiliste de la sécurité structurale (1)

Bases

Résistance R, r

Effets des actions E, e

Fonction de performance G, g

$$g = r - e$$

$$\mu_G = \mu_R - \mu_E$$

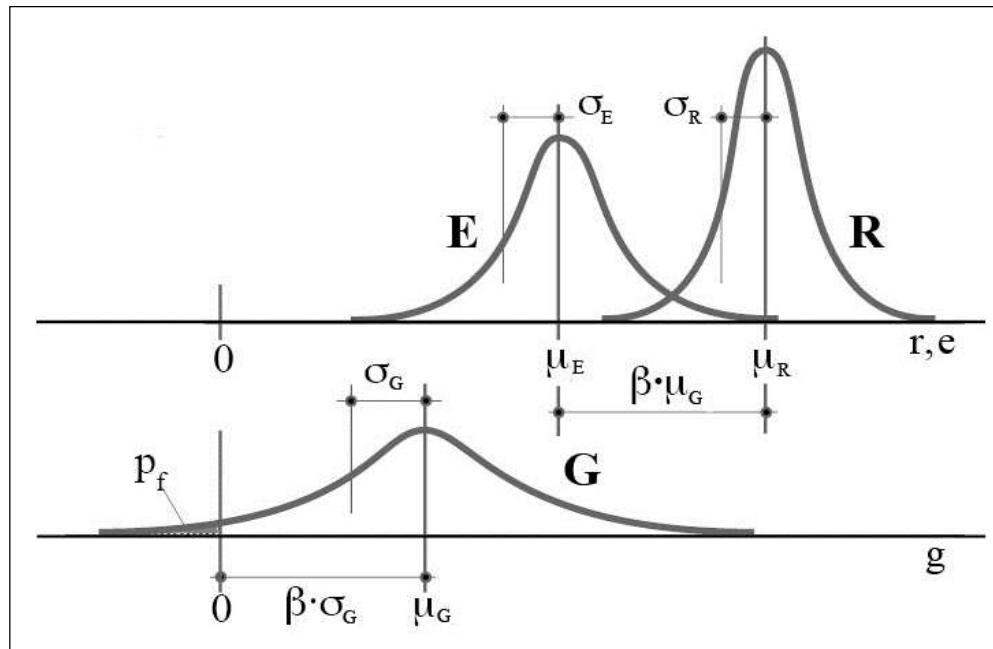
$$\sigma_G = \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_E^2}$$

Indice de fiabilité β

$$\beta = \frac{\mu_G}{\sigma_G} = \frac{\mu_R - \mu_E}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_E^2}}$$

Probabilité de défaillance p_f

$$P_f = \Phi(-\beta)$$



Facteur de sensibilité α

$$\alpha_E = \frac{\sigma_E}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_E^2}}$$

$$\alpha_R = \frac{\sigma_R}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_E^2}}$$

Indice de fiabilité β	0.0	1.3	2.3	3.1	3.8	4.3	4.8	5.2	5.6
Probabilité de défaillance P_f	0.5	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}

Dans le cas où il y a des actions variables:

Probabilité de défaillance par unité de temps → taux de défaillance

Vérification probabiliste de la sécurité structurale (2)

ρ Rapport entre les coûts directs générés par la défaillance et les coûts de remise en état après la défaillance

EF_M Efficacité des mesures; rapport entre la réduction des risques et les coûts de la sécurité

Niveau de sécurité requis

- Comparaison des taux de défaillance r
 - Taux de défaillance plus petit que la valeur cible dépendante des conséquences d'une défaillance d'une structure porteuse et de l'efficacité des mesures EF_M

$$r \leq r_0(\rho, EF_M)$$

- Taux de défaillance de surcroit limité par le risque individuel acceptable de $10^{-5}/\text{an}$

Valeur cible Indice de fiabilité β Taux de défaillance r	Conséquences d'une défaillance de la structure porteuse ρ		
EF_M	faibles $\rho < 2$	modérées $2 < \rho < 5$	importantes $5 < \rho < 10$
faible: $EF_M < 0.5$	3.1 $10^{-3}/\text{a}$	3.3 $5 \cdot 10^{-4}/\text{a}$	3.7 $10^{-4}/\text{a}$
moyenne: $0.5 \leq EF_M \leq 2.0$	3.7 $10^{-4}/\text{a}$	4.2 $10^{-5}/\text{a}$	4.4 $5 \cdot 10^{-6}/\text{a}$
grande: $EF_M > 2.0$	4.2 $10^{-5}/\text{a}$	4.4 $5 \cdot 10^{-6}/\text{a}$	4.7 $10^{-6}/\text{a}$

Vérification probabiliste de la sécurité structurale (3)

Difficultés pratiques

- Bases des valeurs de la norme souvent pas connues.
- Distribution des paramètres de base (actions, valeurs caractéristiques des matériaux) pas connues.
- Qualité du modèle de la structure et du modèle de résistance pas connue, coefficients du modèle difficile à estimer.

Autre possibilité

- Méthode semi-probabiliste
- Possibilités:
 - Prise en considération de distributions probabilistes déterminables et propres au projet
 - Détermination rétroactive de coefficients de variation, ...



Niveau de sécurité

[SIA 269] annexe B

- Conséquences d'une défaillance de la structure porteuse

- Rapport ρ des coûts directs C_F générés par la défaillance avec les coûts de remise en état C_W

$$\rho = \frac{C_F}{C_W}$$

- Défaillance membrure ($n = 0.70$)
 - Ecroulement du pylône
 - Ecroulement de l'installation
 - Dommages de personnes selon l'état d'utilisation

Classement	coefficient	Conséquences
Téléph. en exploitation	$5 < \rho < 10$	Importantes
Téléph. hors exploitation	$2 < \rho < 5$	modérées

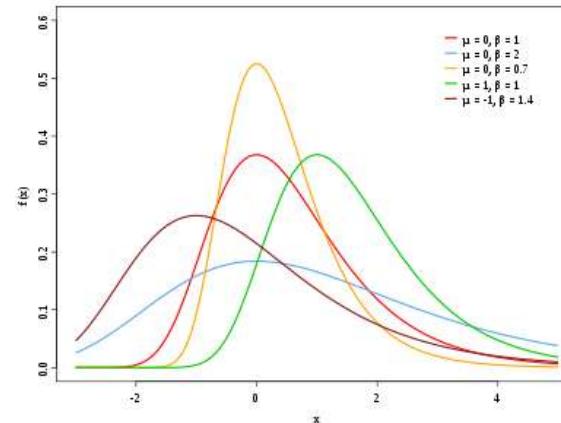
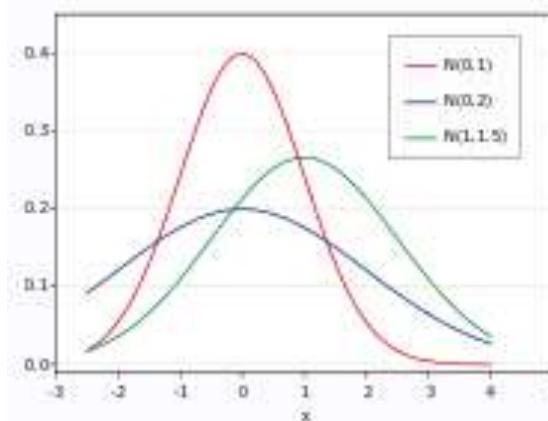
- Efficacité des mesures
 - Phase de l'examen: $EF_M = 1$ [SIA 269, chiffre B.3]
- Valeur cible de l'indice de fiabilité β_0 pour une période de référence de 1 an:
 - Installation en exploitation: $\beta_0 = 4.4$ exprime une probabilité de défaillance de $5 \cdot 10^{-6}/a$
 - Installation hors exploitation: $\beta_0 = 4.2$ exprime une probabilité de défaillance de $10^{-5}/a$

Méthode semi-probabiliste (1)

[SIA 269] annexe C

Hypothèses pour les distributions de probabilité

- Effets des actions permanentes: distribution normale
- Effets des actions variables et accidentnelles: distribution de Gumbel
- Résistances ultimes: distribution normale ou log-normale
- Rigidités: distribution normale



Autres hypothèses

- Dimensionnement selon les normes en vigueur engendre directement la valeur cible β
- Facteurs de sensibilité simplifiés α_E et α_R

	α_E	α_R
Effets des actions prépondérantes	0.7	
Effets des actions concomitantes	0.3	
Résistances ultimes d'importance déterminante		-0.8
Résistances ultimes d'importance secondaire		-0.3

Méthode semi-probabiliste (2)

[SIA 269] annexe C

Valeurs d'examen avec

- distribution normale:

$$E_{d,act} = E_{m,act} (1 + \alpha_E \beta_0 v_{E,act})$$
$$R_{d,act} = R_{m,act} (1 + \alpha_R \beta_0 v_{R,act})$$

Coefficients de variation

$$v_{E,act} = \frac{\sigma_{E,act}}{\mu_{E,act}} \quad v_{R,act} = \frac{\sigma_{R,act}}{\mu_{R,act}}$$

- distribution log-normale:

$$E_{d,act} = E_{m,act} e^{(\alpha_E \beta_0 \delta_E - 0.5 \delta_E^2)}$$
$$R_{d,act} = R_{m,act} e^{(\alpha_R \beta_0 \delta_R - 0.5 \delta_R^2)}$$

Paramètres de distribution log-normale

$$\delta_E^2 = \ln(v_{E,act}^2 + 1) \quad \delta_R^2 = \ln(v_{R,act}^2 + 1)$$

- Distribution de Gumbel:

$$E_{d,act} = E_{m,act} [1 - v_{E,act} (0.45 + 0.78 \ln[-\ln(\Phi[\alpha_E \beta_0])])]$$

Expression pour les facteurs partiels de sécurité

$\gamma_{F,act}$

$\gamma_{R,act}$

Méthode semi-probabiliste (3)

Application 1

- Quelle est la valeur du facteur partiel de sécurité pour le frottement des câbles comme action concomitante pour l'état-limite Type 2?

1. Frottement des câbles selon distribution normale:

$$\gamma_Q = 1 + \alpha_E \beta_0 \nu_{E,act}$$

2. Frottement des câbles comme action prépondérante:

$$\gamma_Q = 2.50, \alpha_E = 0.7$$

3. Situation de danger 1, installation en exploitation: efficacité des interventions moyenne, conséquences importantes:

$$\beta_0 = 4.4$$

$$\nu_{E,act} = \frac{\gamma_Q - 1}{\alpha_E \beta_0} = \frac{2.5 - 1}{0.7 \cdot 4.4} = 0.487$$

4. Frottement des câbles comme action concomitante:

$$\alpha_E = 0.3$$

5. Situation de danger 2, installation hors exploitation: efficacité des interventions moyenne, conséquences modérées:

$$\beta_0 = 4.2$$

$$\gamma_{Q,act} = 1 + 0.3 \cdot 4.2 \cdot 0.487 = 1.61$$

Estimation de la probabilité de défaillance (1)

- Simplification des charges et du système statique
 - Poids propre G
 - Résultante forces des câbles S
 - Frottement R
 - Forces de vent contre câbles W_S et contre pylône W_M

$$\boxed{N = -G \cos 22^\circ - S}$$

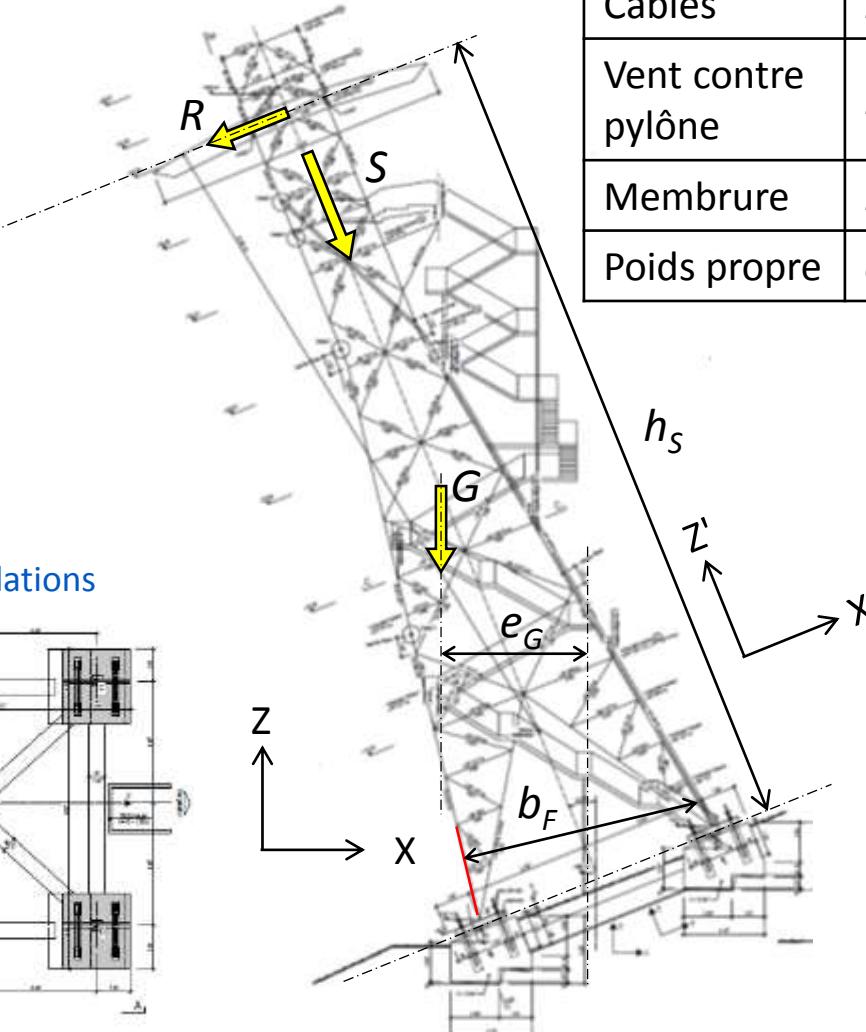
$$M_x = -W_S \cdot h_S - W_M \cdot h_w$$

$$M_y = -G \cdot e_G - R \cdot h_S$$

$$\boxed{N_{Ep} \approx \frac{N}{4} + \frac{M_x + M_y}{2b_F}}$$

$Y=Y'$
 X'

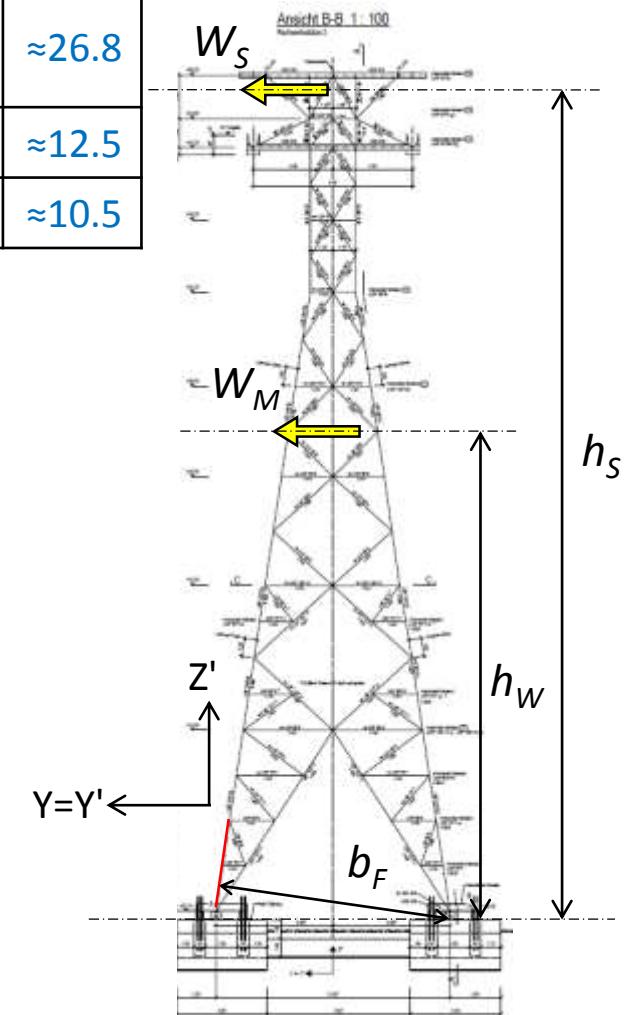
Vue parallèle à la pente



Prof. Thomas Vogel, ETH Zürich

Bras de levier		[m]
Câbles	h_S	≈ 43.0
Vent contre pylône	h_w	≈ 26.8
Membrure	b_F	≈ 12.5
Poids propre	e_G	≈ 10.5

Vue aval + axe



Estimation de la probabilité de défaillance (2)

- Simplification des charges et du système statique
 - Poids propre G
 - Résultante forces des câbles S
 - Frottement R
 - Forces vent contre câble W

$$N = -G \cos 22^\circ - S$$

$$M_x = -W_s \cdot h_s - W_m \cdot h_w$$

$$M_y = -G \cdot e_G - R \cdot h_s$$

$$N_{Ep} \approx \frac{N}{4} + \frac{M_x + M_y}{2b_F}$$

$$n = \frac{N_{Rd,act}}{N_{d,act}}$$

$$N_{Ep} = -0.652G - 0.25S - 1.72W_s - 1.07W_m - 1.72R$$

Actions	Symbole	Valeur [kN]	Effets des actions		
			$N_{Ep}(E)$		Facteur charge
			[kN]	[%]	
Poids propre	G	740	-482	48	1.00
Résultante forces câbles	S	201	-50		1.00
Frottement	R	18	-31		1.67
Vent câbles	W_s	128	-220		1.50
Vent pylône	W_m	363	-388		1.50
Total			-1'172		-1'497
Valeurs du projeteur			$n = 0.7$		-1'773

$$N_{d,act} = G_{d,act} + \gamma_F \cdot Q_{act} = \frac{1}{n} N_{Rd,act}$$

$$N_{d,eff} = G_{d,act} + \gamma_{F,eff} \cdot Q_{act} = N_{Rd,act}$$

$$\gamma_{F,eff} = n \cdot \gamma_F + (n-1) \frac{G_{d,act}}{Q_{act}} = 0.77$$

Méthode semi-probabiliste (4)

Application 2

- Quelle est la probabilité de défaillance si, pour la situation de danger 2, la justification de la sécurité structurale est remplie seulement avec un facteur de charges $\gamma_{F,eff} = 0.77$ pour le vent?

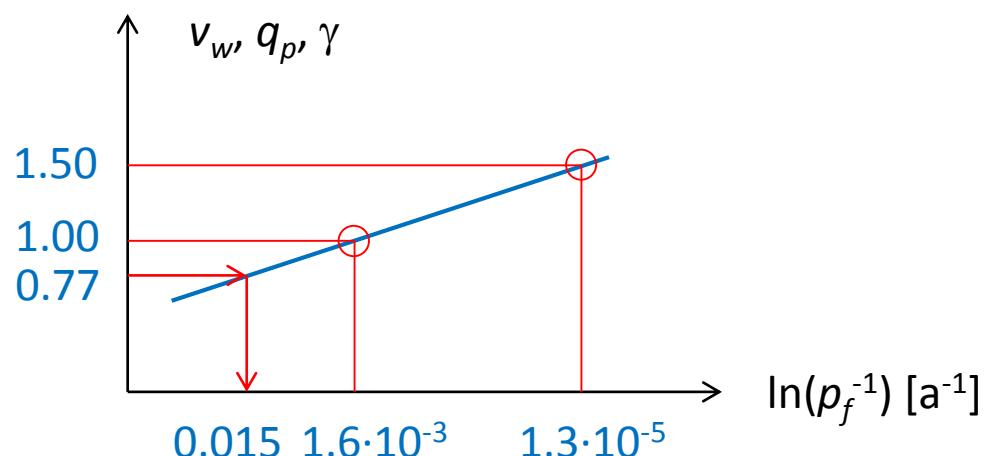
1. La valeur caractéristique de la pression dynamique q_p correspond à une période de retour de 50 ans:

$$p_w(\gamma_F = 1.00) = 0.02 \text{ a}^{-1}$$

2. Indice de fiabilité pondéré adéquat : $\alpha_E \beta_0 = 2.06$; mit $\alpha_E = 0.7 \rightarrow \beta_0 = 2.94$

3. Probabilité de défaillance: $p_f(\beta = 2.94) = 1.6 \cdot 10^{-3} \text{ a}^{-1}$

- Facteur de charge $\gamma_F = 1.50$ correspond à un indice de fiabilité $\beta_0 = 4.2$, c.-à.-d. une probabilité de défaillance:
 $p_f(\beta = 4.2) = 1.3 \cdot 10^{-5} \text{ a}^{-1}$
- Vitesse du vent et pression dynamique sont distribuées selon Gumbel.

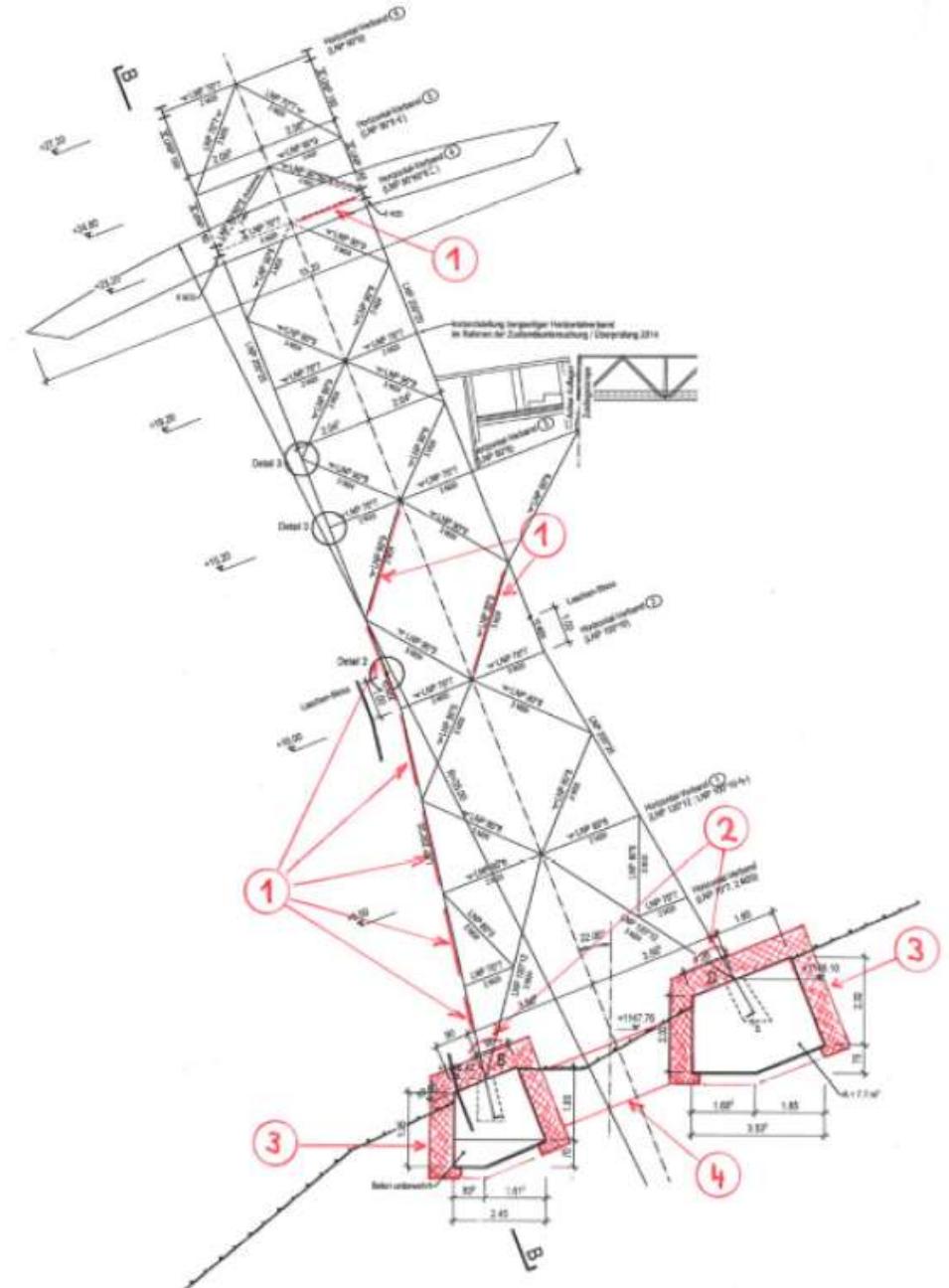


➤ $p_w(\gamma_F = 0.77) = 0.015 \text{ a}^{-1}$,
c.-à.-d. période de retour env. 70 a.

Proportionnalité (1)

- Efficacité d'intervention
 - Rapport entre réduction des risques ΔR_M et coût de la sécurité SC_M
- Mesures pour les 4 pylônes treillis
 - Coût sécurité \approx coût charpente métallique
 - Hypothèse:
15% des coûts de la nouvelle construction
 $=306'000$ CHF
 - Durée d'utilisation restante: $n = 25$ ans
 - Taux d'intérêt pour l'escompte: $i = 2\%$
 - Facteur d'escompte
 $DF = 0.0512$
 - Valeur monétaire annuelle avec escompte:
 $SC_M = 15'700$ CHF

$$EF_M = \frac{\Delta R_M}{SC_M}$$
$$DF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$



Proportionnalité (2)

- Dégâts pour écroulement total hors exploitation:
 - Valeur du bien au départ: 2.65 Mio CHF
 - Frais de déblaiement: 0.50 Mio CHF
 - Dommages aux personnes: 1 mort à $p = 30\%$; Frais sauvetage 5 Mio CHF/P. 1.50 Mio CHF
 - Suspension exploitation 1 an: 1.78 Mio CHF
 - 10% rendement -0.56 Mio CHF
 - 50% dépense personnel 1.09 Mio CHF
 - 60% dépense matériel 1.04 Mio CHF
 - 100% investissement capital 0.21 Mio CHF
 - **TOTAL** 6.43 Mio CHF

- Réduction du risque ΔR_M :

$$\Delta R_M = (p_{f,\text{avant } M} - p_{f,\text{après } M}) \cdot \text{dommage}$$

$$\Delta R_M \approx p_{f,\text{avant } M} \cdot \text{dommage}$$

$$\begin{aligned}\Delta R_M &\approx 0.015 [\text{a}^{-1}] \cdot 6.43 [\text{Mio CHF}] \\ &= 95'100 [\text{CHF/a}]\end{aligned}$$

- Efficacité d'intervention EF_M :

$$EF_M = \frac{\Delta R_M}{SC_M} = \frac{95'100}{15'700} = 6.1 > 1.0$$

- Les interventions prévues sont proportionnelles.

Conclusions

1. Les installations à câbles sont et contiennent des structures porteuses qui doivent être dimensionnées, examinées et conservées comme telles.
2. Ni les séries de normes européennes ni celles des normes suisses ne couvrent tous les aspects importants.
3. La combinaison de dispositions normatives non coordonnées exige une compréhension approfondie des phénomènes concernés.
4. Le relevé de l'état donne les bases pour les actualisations nécessaires et possibles.
5. La justification de la sécurité structurale de structures porteuses existantes d'installations à câbles se déroule en général avec une vérification déterministe.
6. La méthode semi-probabiliste permet l'actualisation de facteurs de sécurité partiels et l'appréciation de la proportionnalité.

Merci beaucoup pour votre attention



Références (1)

Documents généraux

[ASTRA 62014]	ASTRA 62014. KUBA 5.0 Fachapplikation Kunstbauten und Tunnel – Datenerfassungshandbuch, IT-Dokumentation; ASTRA, 2012 V1.00.	[SebG Anhang]	BAV 2006. Bezeichnung von Technischen Normen; Bundesgesetz über Seilbahnen zur Personbeförderung (Seilbahngesetz: SebG), Anhang, 19.12.2006.
[BAV RL Korrel]	BAV 2014. Seilbahnanlagen – Korrelation zwischen den nationalen SIA-Normen und den harmonisierten EN-Normen betreffend Wind ausser Betrieb; Richtlinie, BAV, V 1.1_d, 01.02.2015.	[SIA 160:1970]	SNV 505 160. Norm für die Belastungsannahmen, die Inbetriebnahme und die Überwachung der Bauten; SIA, 1970.
[BAV Mb 4]	BAV 2013. Seilbahnen, Instandhaltung und Umbau; Merkblatt 4, BAV, V 2.0_d 31.12.2013.	[SIA 260:2003]	SN 505 260. Grundlagen der Projektierung von Tragwerken; Schweizer Norm, SIA, 2003.
[EN 1990]	SN EN 1990:2002. Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung; Schweizer Norm, SIA, 2005.	[SIA 260:2013]	SN 505 260. Grundlagen der Projektierung von Tragwerken; Schweizer Norm, SIA, 2013.
[EN 12930]	Sicherheitsanforderungen an Seilbahnen im Personenverkehr – Berechnungen; Deutsche Norm, DIN, Januar 2015.	[SIA 261:2003]	SN 505 261. Einwirkungen auf Tragwerken; Schweizer Norm, SIA, 2003.
[EN 13107]	SN EN 13107:2005-4. Sicherheitsanforderungen für Seilbahnen für den Personenverkehr – Bauwerke; Schweizer Norm, SNV, 2005.	[SIA 261:2014]	SN 505 261. Einwirkungen auf Tragwerken; Schweizer Norm, SIA, 2014.
		[SIA 263:2013]	SN 505 263. Stahlbau; Schweizer Norm, SIA, 2013.

Références (2)

Documents généraux (suite)

- [SIA 269] SN 505 269. Grundlagen der Erhaltung von Tragwerken; Schweizer Norm, SIA, 2011.
- [SIA 269/2] 505 269/2. : Erhaltung von Tragwerken – Betonbau; Schweizer Norm, SIA, 2011.
- [SIA 269/3] SN 505 269/3: Erhaltung von Tragwerken – Stahlbau; Schweizer Norm, SIA, 2011.
- [SIA 469] SN 588 469. Erhaltung von Bauwerken; Schweizer Norm, SIA, 1997
- [SIA D 0188] Hertig J.-A., Zimmerli B. Wind – Kommentar zum Kapitel 6 der Normen SIA 261 und 261/1 (2003) Einwirkungen auf Tragwerke; Dokumentation SIA D 0188, Zürich, 2006.
- [VSS SN 640 904] SN 640 904:2003. Erhaltungsmanagement (EM) – Gesamtbewertung von Fahrbahnen, Kunstbauten und technischen Ausrüstungen: Substanz- und Gebrauchswerte; Norm, VSS, 2003.

Références (3)

Documents spécifiques à l'objet

[BUe]	<i>Ingenieurbüro.</i> Bericht zu den Umwelteinflüssen; <i>Bauherr, Objekt A</i> , 26.07.2014 V04.	[PB]	<i>Ingenieurbüro.</i> Projektbasis; <i>Bauherr, Objekt A</i> , 28.11.2014 V03.
[ESaBSIA]	<i>Lieferant.</i> Ermittlung des Staudrucks "ausser Betrieb" nach SIA 261:2003; <i>Objekt A</i> , 19.02.2014 V00.00.	[NV]	<i>Ingenieurbüro.</i> Nutzungsvereinbarung; <i>Bauherr, Objekt A</i> , 26.07.2014 V05.
[ESaBWG00]	<i>Lieferant.</i> Ermittlung des Staudrucks "ausser Betrieb" aus dem Windgutachten; <i>Objekt A</i> , 29.07.2014 V00.00.	[ÜB]	<i>Ingenieurbüro.</i> Überprüfungsbericht best. Fachwerkstützen und Fundamente; <i>Bauherr, Objekt A</i> , 28.11.2014 V01.
[ESaBWG00]	<i>Lieferant.</i> Ermittlung des Staudrucks "ausser Betrieb" aus dem Windgutachten; <i>Objekt A</i> , 09.02.2015 V00.00.	[ÜK]	<i>Ingenieurbüro.</i> Überprüfungskonzept für best. Fachwerkstützen und Fundamente; <i>Bauherr, Objekt A</i> , 28.11.2014 V01.
[EvIK]	<i>Ingenieurbüro.</i> Erläuterungen zum vorgesehenen Instandsetzungskonzept best. Fachwerkstützen und Fundamente, <i>Objekt A</i> , 19.12.2014.	[WA]	Bader S. Windanalyse Messstation Pfäfers –Valens (SG) 2009-2010; MeteoSchweiz, 04.11.2010.
[GAD]	<i>Ingenieurbüro.</i> Strecke: Fachwerkstütze 2; Grundriss + Ansichten + Details 1:100/1:10; <i>Bauherr, Objekt A</i> , 28.11.2014.	[WG]	Hertig, J.-A.; Zimmerli, B. Windgutachten; <i>Objekt B</i> , 07.03.2013, corr. 01.04.2014.
[GB]	<i>Geotechniker.</i> Geotechnische Beurteilung der Stabilität der Masten 2 und 3; <i>Objekt A</i> , 27.02.2014.	[ZB]	<i>Ingenieurbüro.</i> Zustandsbericht – Feste Anlagen; Stationen, Streckenfundamente, Fachwerkstützen; <i>Bauherr, Objekt A</i> , 28.11.2014 V03.
[GB 2013/14]	<i>Bauherr.</i> 15. Geschäftsbericht 2013/14.		