



Seilbahnen Schweiz
Remontées Mécaniques Suisses
Funivie Svizzere
Penticularas Svizras

Détermination des pressions dynamiques sur les installations de transport à câbles

Guide pour les expertises de vent

Dählhölzliweg 12
CH-3000 Berne

info@remontees-mecaniques.ch
www.remontees-mecaniques.ch



Éditeur

Remontées Mécaniques Suisses (RMS), Dählhölzliweg 12, 3000 Berne

Groupe d'accompagnement spécialisé (groupe de travail Vent)

Michael Baur, Haute école de Lucerne, Technique et architecture

René Cattin, Meteotest AG

Paul Froidevaux, Meteotest AG

Alain Gilliand, Office fédéral des transports (OFT)

Bernd Populorum, Garaventa SA

Andreas Gudenrath, ingénieur civil EPF / SIA

Ernst Steiger, ingénieur civil ETS

Patrick Schibli, BACO SA

Fritz Jost, Remontées Mécaniques Suisses (RMS)

Adrian Jordan, Engadin St. Moritz Mountains AG

Mandant

Management Board; Office fédéral des transports (OFT)

Version

1^{er} février 2020, version 1

Sommaire

1	Introduction	4
2	Importance de l'expertise de vent vis-à-vis de la norme SIA 261	4
3	Mesures du vent	5
4	Transfert de la mesure du vent sur le terrain.....	6
5	Statistiques de valeurs extrêmes	7
6	Extrapolation verticale.....	8
7	Présentation des résultats.....	8
8	Catégorisation des résultats.....	8

1 Introduction

Lors de l'établissement d'expertises de vent, des questions ont régulièrement été soulevées par rapport à l'application de la norme SIA 261. Par le passé, cela a débouché de manière répétée sur des discussions de principe entre l'OFT, le fabricant, l'expert et l'entreprise de remontées mécaniques.

L'objectif du présent document est de proposer un guide adapté à la pratique et remplissant les exigences de l'OICa et des normes en vigueur. À cette fin et dans le cadre du Management Board «Installations à câbles», mandat a été donné au «groupe de travail Vent» d'établir les bases nécessaires. Celles-ci comprennent des aides de travail pour l'expert et des conventions portant sur les rapports entre les parties impliquées dans le futur établissement d'expertises de vent.

Les aides de travail se composent de deux documents: un guide pour l'établissement d'expertises de vent et une expertise fictive à titre d'exemple. Ces deux documents sont édités et administrés par Remontées Mécaniques Suisses (RMS).

2 Importance de l'expertise de vent vis-à-vis de la norme SIA 261

Les normes suivantes s'appliquent en principe pour déterminer les actions du vent sur les structures porteuses:

- [1] SIA 261:2014, «Actions sur les structures porteuses», Société suisse des ingénieurs et des architectes, Zurich.
- [2] D0188, 2003: «Vent – Commentaire sur le chapitre 6 des normes SIA 261 et 261/1 – Actions sur les structures porteuses», Société suisse des ingénieurs et des architectes, Zurich.
- [3] SN EN 1994-1-4:2005, 2016: «Eurocode 1: Actions sur les structures - Partie 1-4: Actions générales - Actions du vent – Annexe nationale AN à la norme SN EN 1994-1-4:2005, Société suisse des ingénieurs et des architectes, Zurich.

La pression dynamique q_p d'une expertise de vent établie selon les instructions du présent guide remplace la pression dynamique q_p selon la norme SIA 261:2014 Gl.(11), car une expertise de vent examine les particularités locales de façon plus spécifique, plus approfondie et donc plus précise.

3 Mesures du vent

Les mesures du vent forment la base centrale de l'établissement d'une expertise de vent solide pour les remontées mécaniques.

Une expertise de vent doit s'appuyer sur au moins une mesure du vent représentative, soit étendue sur plusieurs années (recommandation: > 10 ans).

Si une seule mesure du vent représentative sur plusieurs années est disponible, le transfert de la mesure sur le terrain et sa représentativité pour la situation globale doivent être documentés. Au moins une mesure du vent supplémentaire doit être prise en compte afin de garantir une plausibilisation et donc la représentativité des résultats par le biais de comparaisons transversales. Les mesures supplémentaires peuvent couvrir une durée moindre et provenir de mesures du vent d'installations de remontées mécaniques existantes.

Toutes les mesures du vent prises en compte dans l'expertise de vent doivent être documentées selon les points suivants:

- Stations de mesure utilisées
- Emplacement, source, durée de la série de mesures, résolution temporelle, hauteur au-dessus du sol
- Intégralité, cohérence, dérive de la série de mesures
- Exposition et représentativité de la mesure (p. ex. roses des vents, terrain, utilisation du sol, distance par rapport à l'installation à câbles)
- Des vérifications de la plausibilité de rafales maximales et d'événements extrêmes (p. ex. déroulement dans le temps, mesures voisines, situation météorologique du moment, image radar, articles de presse) sont nécessaires lorsque des incertitudes planent sur les données disponibles.

Idéalement, une expertise de vent s'appuie sur les rafales maximales effectivement mesurées. L'Organisation météorologique mondiale (OMM) recommande à cette fin de mesurer des rafales maximales de 3 secondes¹. Les stations des réseaux de mesure nationaux de Suisse (SwissMetMet, NABEL et IMIS) se conforment à cette recommandation.

Si aucune rafale maximale n'a été effectivement mesurée, il est possible de recourir à des valeurs moyennes. Dans les normes (Eurocode/SIA), on tient par exemple toujours compte de la moyenne sur 10 minutes. De telles données doivent toujours être corrigées en appliquant un facteur de rafales plausible. La détermination de ce facteur doit être documentée dans l'expertise.

¹ Recommendations of the World Meteorological Organization, chapter 5, «measurement of surface wind», https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=19662#.XcOfjNVCeM9

La précision des rafales maximales mesurées dépend de l'inertie de l'anémomètre utilisé. Un grand anémomètre à coupelles mesure moins précisément qu'un anémomètre à ultrasons sans contact. La SIA augmente en principe de 10 % les vitesses de rafales mesurées afin de tenir compte de ce facteur. Dans l'idéal, le type d'anémomètre utilisé pour la mesure est connu et l'expert peut évaluer en conséquence si la correction des rafales maximales mesurées doit être appliquée ou non.

4 Transfert de la mesure du vent sur le terrain

Les modèles CFD se prêtent bien au transfert des mesures du vent sur les emplacements des pylônes des installations à câbles. En terrain complexe, la résolution spatiale du modèle doit se situer entre 20 et 30 mètres. Les points suivants de la modélisation doivent être documentés dans l'expertise de vent:

- Modèle CFD utilisé
- Étendue de la zone modélisée
- Résolution spatiale (horizontale et verticale, éléments de volume)
- Visualisation de la zone modélisée avec les stations de mesure et le tracé de l'installation à câbles
- Modèle altimétrique utilisé
- Données d'occupation du sol utilisées
- Indications techniques pertinentes pour le calcul des champs de vent (p. ex. conditions marginales, critères de convergence, modèle de turbulence)

Les modèles CFD autorisant une simulation avec une résolution horizontale de 10 à 30 mètres sur une surface de plusieurs km² sont stationnaires ou ne permettent que le calcul de brefs événements isolés. Ces modèles ne sont pas optimisés pour la simulation de statistiques de rafales maximales sur le long terme, car lesdites rafales ne sont pas de nature stationnaire. Les modèles représentent un état stationnaire moyen compte tenu des conditions marginales choisies. La façon dont il en a été tenu compte dans l'évaluation doit être documentée dans l'expertise de vent.

Il est également possible de recourir à d'autres approches que les modèles CFD. La méthode doit être documentée.

5 Statistiques de valeurs extrêmes

Selon la norme SIA 261, la «valeur caractéristique» de la pression dynamique q_p doit être calculée dans une expertise de vent. Cette valeur caractéristique s'appuie sur les rafales maximales sur une période de retour de 50 ans ou une rafale maximale avec une probabilité de dépassement de 2 % par an.

La rafale maximale sur une période de retour de 50 ans est calculée au moyen de statistiques de valeurs extrêmes.

Dans la norme SIA 261, les statistiques de valeurs extrêmes se fondent sur la distribution de Gumbel, qui constitue un cas particulier de la distribution générale des valeurs extrêmes (*generalized extreme value distribution*, GEV).

L'application de cette distribution nécessite d'identifier les valeurs extrêmes au moyen de la méthode des maxima par blocs. On utilise en règle générale à cette fin une série temporelle de maxima annuels (*annual maxima series*, AMS). Afin d'obtenir des valeurs fiables avec cette méthode, la période de mesures du vent doit couvrir au minimum 15 ans.

Une autre approche de statistiques de valeurs extrêmes consiste à identifier des valeurs extrêmes qui dépassent une valeur-seuil définie (*peak over threshold*, POT). Ces valeurs ne suivent pas la distribution générale des valeurs extrêmes (GEV). La distribution générale de Pareto (*generalized pareto distribution*, GPD) doit donc être privilégiée pour cette approche, qui peut également convenir à des séries chronologiques plus courtes.

Il incombe à l'expert de choisir la méthodologie appliquée pour les statistiques de valeurs extrêmes sur la base des données de mesure dont il dispose. Pour cela, son attention doit se porter sur les points suivants:

- Utilisation d'un nombre suffisamment grand de maxima (> 15 valeurs).
- Extraction de maxima homogènes (les maxima mensuels ne sont pas systématiquement homogènes)
- Vérification de la plausibilité des maxima utilisés: élimination des valeurs aberrantes et erronées
- Meilleur «fit» possible de la distribution des valeurs extrêmes

Pour la vérification de la plausibilité, les valeurs sur 50 ans obtenues sont comparées aux maxima mesurés aux stations.

6 Extrapolation verticale

Dans les expertises de vent, la valeur q_p doit être déterminée directement à la hauteur de la tête du pylône ou de la structure. L'expert doit documenter le choix et la plausibilisation de la méthodologie visant à déterminer les profils verticaux.

7 Présentation des résultats

Les résultats doivent être présentés sous forme de tableau avec les colonnes suivantes:

- Pylône / structure
- Position
- Hauteur au-dessus du sol de la tête du pylône / de la structure [m]
- Pression dynamique q_p [N/m²]

8 Catégorisation des résultats

Brève récapitulation / bilan des constatations pertinentes:

p. ex. catégorisation qualitative des résultats par rapport à la situation globale, à la météorologie locale, aux éventuelles particularités, aux incertitudes dans les données de base et à la méthodologie. Si un modèle CFD a été utilisé, il est recommandé de joindre en annexe une carte des champs de vent de la zone traitée.