

**Zeitschrift:** Ingénieurs et architectes suisses

**Band:** 108 (1982)

**Heft:** 25

**Artikel:** Déversement d'un mât métallique en double-té

**Autor:** Opperman, Gert

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-74693>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 12.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Déversement d'un mât métallique en double-té

par Gert Opperman, Lausanne

## 1. Introduction

Parmi les composants d'un système de pylônes standard, développé par la Société Générale pour l'Industrie (SGI) à Lausanne [1]<sup>1</sup>, se trouvent des mâts porteurs métalliques en double-té. Il est connu que des éléments structuraux à section ouverte et parois minces présentent une faible rigidité à la torsion. Ceci, lié à la grande hauteur des mâts, nécessite leur vérification au déversement. Dans le cas que nous présentons ci-dessous, la géométrie du mât varie d'une façon irrégulière du pied au sommet [1], ce qui rend une telle vérification très difficile par des moyens classiques.

Dans le cadre d'une recherche entreprise avec l'aide du Fonds national de la recherche scientifique sur le comportement des poutres-colonnes, nous avons développé un procédé de calcul basé sur la méthode des éléments finis

<sup>1</sup> Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie en fin d'article.

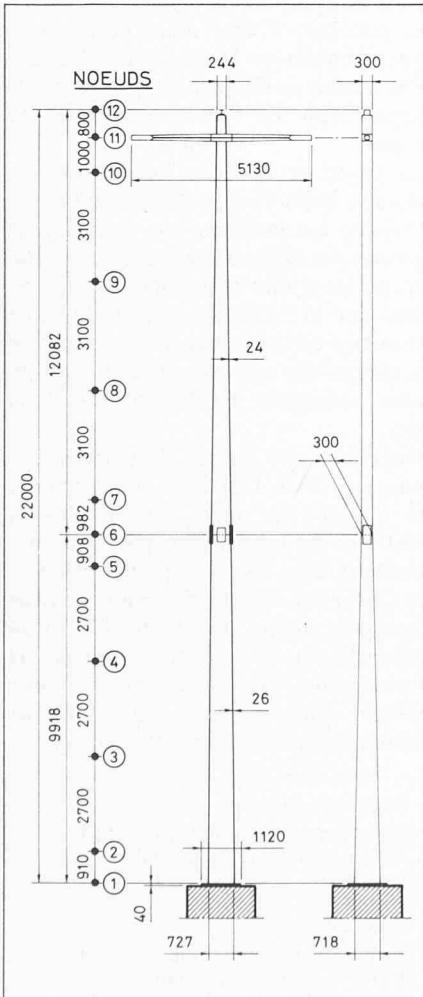


Fig. 1. — Géométrie du mât et position des nœuds du modèle numérique.

qui permet, entre autres, d'effectuer cette vérification [2]. Le modèle numérique d'une poutre-colonne est constitué d'éléments unidimensionnels ayant quatorze degrés de liberté à leurs noeuds. Les éléments (finis) permettent d'étudier le comportement des barres comprimées et fléchies en tenant compte des imperfections géométriques; ce procédé permet aussi de prévoir le comportement au-delà de la charge ultime.

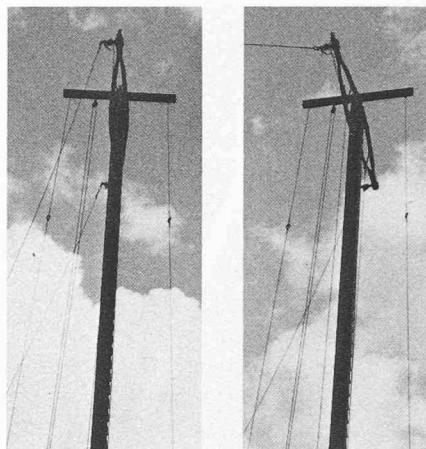


Fig. 2. — *Essai de torsion: mât non chargé à gauche et chargé à droite.*

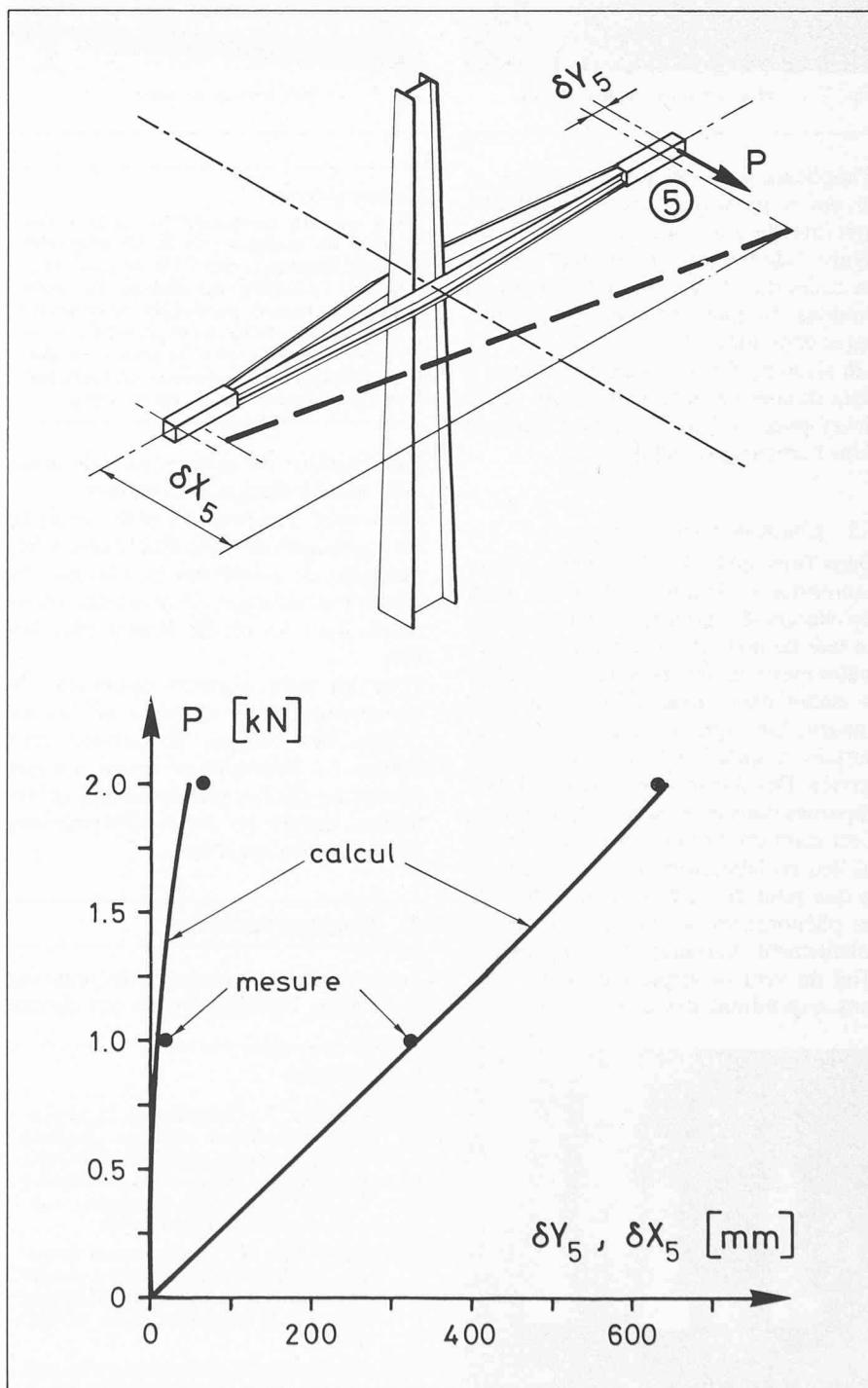


Fig. 3. — Rigidité à la torsion.

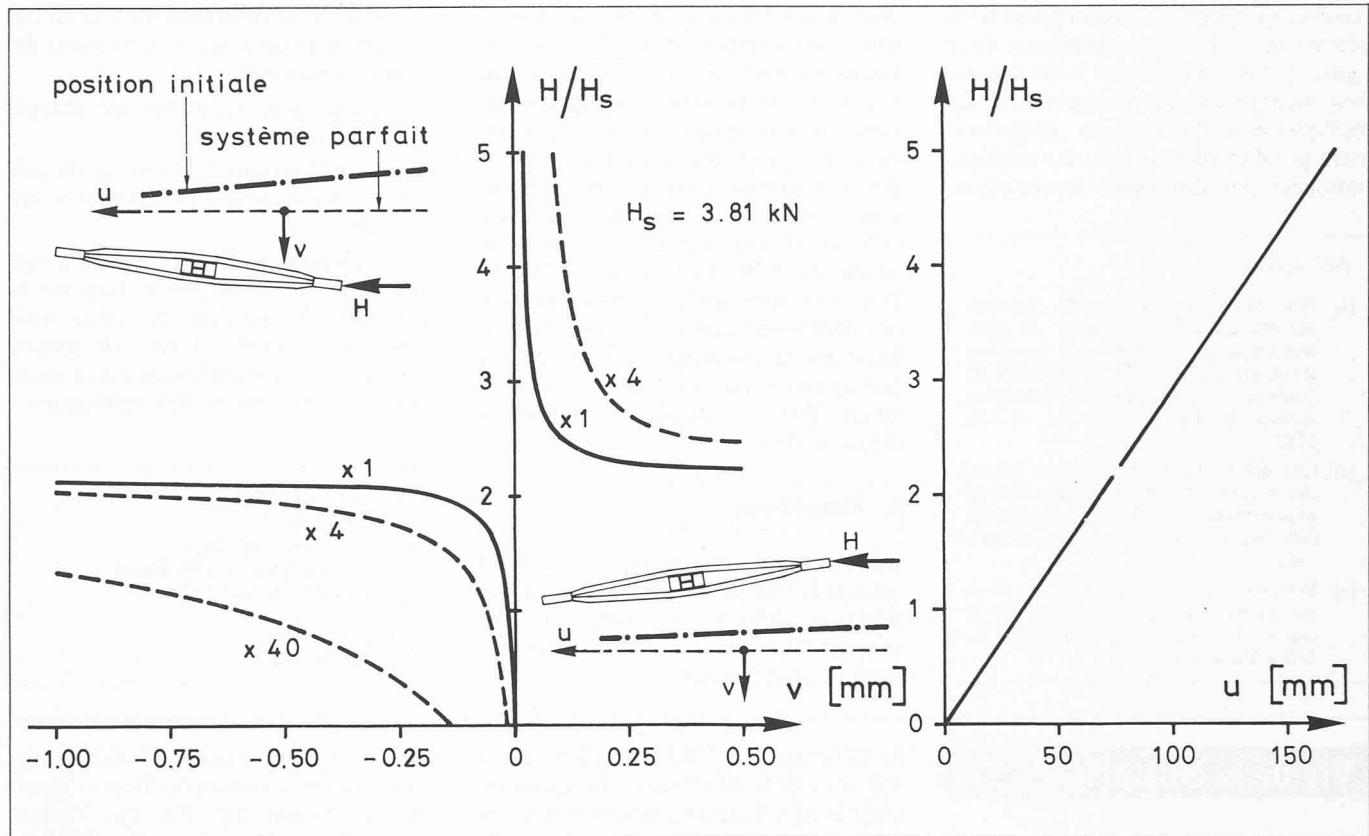


Fig. 4. — Déversement du mât.

## 2. Géométrie du mât et modèle numérique

Les dimensions du mât examiné sont indiquées à la figure 1, sur laquelle on peut relever en particulier:

- la hauteur de 22 m,
- la console située à 0,8 m du sommet,
- les deux épaisseurs différentes des ailes,
- la variation de la largeur des ailes du tronçon inférieur.

Nous avons aussi indiqué sur cette figure la position des nœuds des onze éléments utilisés dans la discrétisation. Ces éléments sont tous prismatiques avec une section droite équivalente à celle du milieu de l'élément correspondant du mât. Les dimensions de cette section droite déterminent aussi la grandeur de la constante de torsion de Saint-Venant ( $K$ ), que nous avons prise égale à:

$$K = \frac{1}{3} \sum b t^3.$$

Les conditions de bord adoptées pour le modèle numérique sont aussi très simples. Nous avons admis d'une part que la section de base (encastrement) reste plane et, d'autre part, que la section droite au niveau de la console reste également plane. Nous avons pu faire cette dernière hypothèse du fait que les raidisseurs en tôle de 12 mm, situés à l'attache de la console, rendent la section indéformable.

Afin de pouvoir comparer notre méthode de calcul avec le résultat de l'essai effectué sur le mât en vraie grandeur [1], il est nécessaire d'introduire la limite

élastique réelle ainsi que les contraintes résiduelles du profil.

Pour déterminer la limite élastique, nous avons effectué des essais de traction simples sur des éprouvettes prélevées dans les différentes tôles utilisées pour la fabrication du mât d'essai. La répartition et l'intensité des contraintes résiduelles, pour des éléments structuraux formés de tôles assemblées par soudure, peuvent être déterminées selon la méthode proposée par Plumier [3]. C'est ce que nous avons adopté dans notre calcul.

Comme le procédé de calcul traite le déversement comme une divergence de l'équilibre, il fallait aussi introduire des imperfections géométriques telles que la déformation initiale du mât et l'excéntricité de l'application des charges. Nous avons choisi de représenter ces imperfections du mât par une très faible rotation d'environ  $0,12 \cdot 10^{-3}$  radians au niveau de la console, cette dernière étant considérée comme parfaitement rigide.

## 3. Rigidité à la torsion

La rigidité à la torsion théorique admise dans la méthode de calcul a pu être vérifiée à l'aide d'un essai de torsion [1]. La figure 2 montre clairement l'importance des déformations subies par le mât pendant cet essai. Les états indiqués correspondent aux charges zéro et 2 kN (la traverse placée au sommet du mât a été utilisée pour l'application des charges verticales [1]).

La figure 3 montre la comparaison des déplacements horizontaux mesurés avec les déplacements calculés. On constate que la méthode simule très bien la rigidité à la torsion du mât.

## 4. Vérification au déversement

Sur un pylône porteur, le changement de direction des fils conducteurs donne lieu à des charges qui fléchissent le mât selon son axe fort. La position la plus défavorable d'une telle charge est indiquée à la figure 4, à l'extrémité de la console.

Cette figure présente également les résultats de nos calculs. Le résultat essentiel est représenté par la ligne continue  $H/H_s - v$  entre les valeurs  $H/H_s = 0$  et  $H/H_s = 2,20$ .  $H_s$  est la charge de service totale prescrite, dans la direction de  $u$ , provoquée par un changement de direction de 7 grades. Les relations indiquées entre les valeurs  $H/H_s = 2,25$  et  $H/H_s = 5$  représentent le deuxième mode de comportement (élastique) du mât; elles n'ont qu'un intérêt théorique.

Le mât déverse pour une valeur de  $H/H_s$  égale environ à 2,16. Donc, même avec un point d'application de la charge aussi défavorable que celui-ci, le mât peut supporter une charge relativement élevée. Par contre, nos calculs ont montré que le mât est relativement sensible aux grandeurs des déformations initiales.

Un mode de ruine par déversement et non par flambage selon l'axe fort n'est

possible qu'en présence d'imperfections géométriques. Les lignes continues de la figure 4 ont été calculées avec la rotation mentionnée au paragraphe 2. En multipliant cette rotation respective-ment par 4 et 40, on trouve les relations indiquées par des lignes discontinues.

#### Bibliographie

- [1] BERGIER, P. et CRISINEL, M. *Développement d'un nouveau type de mâts métalliques — Lignes de transport d'énergie à 132 kV des Chemins de fer fédéraux*. Ingénieurs et architectes suisses, Lausanne, vol. 108, n° 25, 1982.
- [2] OPPERMANN, G. *Comportement spatial des poutres-colonnes à section ouverte et parois minces*. Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, these n° 434, 1982.
- [3] PLUMIER, A. *Relation entre les paramètres de soudage d'une colonne et sa charge de flambement*. Université de Liège, thèse, 1979.

Avec une rotation 4 fois plus grande, la nature du comportement du mât reste essentiellement la même. Par contre, avec une rotation 40 fois plus grande, la ruine du mât se produit plutôt par torsion. On relèvera que les rotations introduites correspondent à des déplacements transversaux du point d'application de  $H$  par rapport à sa position idéale de 0,30, 1,20 et de 12,10 mm. Pour une structure à l'échelle du mât, des déformées sont très faibles. Notons aussi que la grandeur des rotations n'a pratiquement pas d'influence sur la relation  $H/H_s - u$  (déplacement dans la direction de  $H$ ).

#### 5. Conclusion

On a montré dans cet article comment obtenir la charge de déversement d'une structure difficile à traiter par des moyens classiques et même par des moyens expérimentaux.

Le calcul de la résistance du mât au déversement effectué selon la méthode décrite a montré que:

- le mât peut supporter les charges prescrites,
- la faible rigidité à la torsion du mât le rend sensible aux déformées initiales.

La vérification expérimentale de la rigidité à la torsion augmente bien sûr la crédibilité des résultats du calcul mais n'est pas essentielle. L'essai de torsion n'a d'ailleurs pas influencé notre choix des paramètres du modèle numérique.

#### Adresse de l'auteur:

Gert Opperman,  
D'ès sciences techniques  
ICOM-Construction métallique  
Ecole polytechnique fédérale  
de Lausanne  
GCB (Ecublens)  
1015 Lausanne

## Vie de la SIA



### Giornate SIA del 3-4 giugno 1983 a Lugano

La SIA Ticino rende noto ai colleghi che le giornate SIA 1983 avranno luogo a Lugano il 3-4 giugno 1983. Tutti i colleghi della SIA sono cordialmente invitati a partecipare alla manifestazione. Il programma delle giornate sarà il seguente:

#### Venerdì 3 giugno

- ore 10.30 Assemblea dei delegati
- ore 13.00 Pranzo
- ore 15.00 Parte ufficiale
- ore 19.30 Aperitivo
- ore 20.15 Banchetto.

#### Sabato 4 giugno

Visite ed escursioni culturali secondo programma.

Le Giornate SIA 1983 coincidono con i 100 anni della SIA Ticino. Da quasi un anno la SIA Ticino ha nominato un Comitato di organizzazione che si occupa di questa festa. Dello stesso fanno parte i colleghi: ing. Ossola, presidente; ing. Tarchini, presidente SIA Ticino; ing. Sartoris; ing. Tunesi; ing. Re; arch. Viglino; arch. Carnio-Quirici; arch. Tibiletti e arch. Croci, arch.

Durante il periodo della manifestazione verrà organizzata, a villa Ciani, una mostra retrospettiva delle opere di progettisti ticinesi. Verrà pure esposto un modello del capannone realizzato a Chiasso dall'ing. Robert Maillart nel 1924.

Ossola, ing., président; Tarchini, ing., président de la section du Tessin; Sartoris, ing.; Tunesi, ing.; Re, ing.; Viglino, arch.; Carnio-Quirici, arch.; Tibiletti, arch. et Croci, arch.

Au moment de cette manifestation, une exposition sera organisée à la Villa Ciani, présentant une rétrospective des œuvres des ingénieurs et des architectes tessinois. On y verra notamment un modèle du hangar réalisé à Chiasso en 1924 par l'ingénieur Robert Maillart.

## Industrie et technique

### Turbines hydrauliques normalisées pour puissances de 0,1 à 10 MW

L'état actuel des coûts de production de l'énergie incite certainement à réfléchir sur toutes les possibilités de reprendre en service d'anciennes petites centrales hydrauliques remises au plus récent niveau technique, de même que sur la mise à profit de maints cours d'eau jusqu'ici inutilisés. Ceci d'autant plus que l'énergie hydraulique, autre qu'elle ne cause aucune nuisance à l'environnement, est de plus renouvelable. En outre, les petites centrales hydro-électriques peuvent aujourd'hui être si heureusement incorporées au lit d'une rivière que leur présence ne provoque guère de détérioration gênante du paysage et de l'écologie du cours d'eau.

Plusieurs facteurs sont prépondérants dans le choix optimal de l'équipement et de l'exploitation de petites centrales hydro-électriques: type de turbines, degré d'aménagement, ampleur des travaux de génie civil, de même aussi les dispositifs de réglage et de sécurité né-