Pylône autoportant endommagé par suite d'un accident (Luxembourg)

Autor(en): **Mauer, G.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **IABSE structures = Constructions AIPC = IVBH Bauwerke**

Band (Jahr): **9 (1985)**

Heft C-34: **Telecommunication towers**

PDF erstellt am: **29.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-19431

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

11. Pylône autoportant endommagé par suite d'un accident (Luxembourg)

Expertise: *Administration des Ponts et Chaussées, Luxembourg Bureau d'ingénieurs-conseils Schröder & Associés, Luxembourg*
Constructeur: *Entreprises J. Paris, Nantes*

Introduction

La Compagnie Luxembourgeoise de Télédiffusion possède sur le site de Dudelange (Gr. D. de Luxembourg) un pylône émetteur autoportant de 298 m de hauteur. Le 31 juillet 1981, un avion du type «mirage» percute accidentellement ce pylône. Sous le choc la moitié supérieure de l'ouvrage s'abat au sol.
L'évaluation des dommages directs occasionnés au pylône nécessitait de la part des experts et constructeur, de définir la partie récupérable de la structure.

Le présent article met en évidence les actions prises pour évaluer l'état de la partie inférieure du pylône.

Description du pylône et du mécanisme d'effondrement

Le pylône, en structure métallique, est autoportant, a une hauteur totale de 298 m et se compose d'un tronçon de 246 m en treillis à base triangulaire de 40 m de côté au niveau des fondations, et d'un mât en tête de section carrée de 52 m de hauteur. Ce mât porte les antennes émettrices.
Le poids total des structures métalliques représente environ 800 tonnes.

L'avion qui percuta la structure avait une masse de l'ordre de 13 tonnes et volait horizontalement à 800 km/heure.
Le point d'impact fut situé exactement à 174,5 m au-dessus des fondations. La trajectoire de l'avion avant le choc était pratiquement perpendiculaire à la face «est» du pylône. Il traversa cette face entre la triangulation et heurta de front la membrure «ouest». Sous le choc un tronçon de 8 mètres de membrure fut éjecté hors du pylône. La partie supérieure de la structure n'étant plus en équilibre, pivota dans la direction du choc autour d'une charnière horizontale de direction «nord sud» située au niveau 166 m. Après une certaine rotation les charnières (rotules plastiques aux membrures) se brisèrent et la partie en mouvement s'écrasa au sol en dehors de l'emprise de la base.

Quelques pièces arrachées lors du choc ou lors de la rupture des charnières tombèrent à la verticale dans le pylône et créèrent localement des dommages aux barres.

Un examen sommaire du pylône après accident avait permis de tirer les conclusions suivantes:
- l'alignement des membrures ne semblait pas modifié jusqu'aux alentours du niveau 128 m,
- apparemment on ne constatait aucune torsion de la structure jusqu'au niveau 104.000,
- les massifs de fondation ne présentaient aucune fissuration.

Un programme de contrôle plus approfondi des structures fut établi de façon à évaluer la sécurité qu'offrait la structure restée en place.
Ce programme comprenait:
- un contrôle précis de la géométrie de la structure récupérable,
- un calcul des sollicitations que la structure a pu subir lors de l'impact,
- un contrôle métallurgique des éléments de construction se trouvant dans les zones fortement sollicitées,
- une inspection visuelle des assemblages.

Contrôles géométriques

Nivellement des fondations

Le pylône repose sur 3 massifs en béton de 1.400 m^3 chacun. Au stade du projet de part la nature du terrain, on craignait des tassements différentiels avec le temps. Les fondations furent ainsi construites de façon à pouvoir ajuster leur niveau à l'aide de vérins.

Une série de 7 relevés du niveau des fondations avait été exécutée durant la construction du pylône. La comparaison des niveaux des fondations entre l'achèvement de sa construction (1972) et après l'accident (1981) fit apparaître des variations extrêmement faibles. Le massif «ouest» s'était affaissé de 1,5 mm, le massif «sud» de 2,75 mm et le massif «nord» de 2,5 mm. Ce tassement faisait plus ressortir l'influence des vents dominants (vent d'ouest) que le choc occasionné par l'avion. Cette rotation d'ensemble à la base occasionnait donc un hors plomb théorique «est» de 5 mm à 154 m hauteur.

Relevé topographique des membrures

Deux relevés topographiques ont été effectués, un avant démontage des structures endommagées du pylône, l'autre après démontage de ces structures. Les relevés ont été réalisés à chaque fois au théodolite.

Premier relevé

Les axes théoriques de construction d'une membrure forment une ligne brisée contenue dans un plan vertical qui se projette dans le plan horizontal suivant une médiane du triangle équilatéral de base. Si le pylône a conservé après accident une déformation, celle-ci est due à un allongement ou raccourcissement d'au moins une barre de sa structure, de ce fait les axes d'épures des membrures vont sortir de leur plan vertical d'origine. L'on a donc défini à partir des plans de fabrication du pylône, une série de points matériels, situés sur une membrure, facilement repérables et reconnaissables au théodolite, et dont la projection sur un plan horizontal devait se situer sur une même droite. Les points ainsi choisis ont été relevés au théodolite, de façon à pouvoir en calculer les coordonnées dans un référentiel XY horizontal. Les comparaisons entre la position de la projection théorique du point et sa position projetée effective permet d'apprécier les déformations de la membrure.

Cette série de mesure a fait apparaître pour les 3 membrures mesurées des écarts hors plan théoriques inférieurs à 21 mm. Une série de 8 points par membrure répartis entre 0 et 104 m fut ainsi analysée.

Deuxième relevé

Le deuxième relevé fut réalisé indépendamment du premier. Cette fois 24 nouveaux points répartis sur chaque membrure entre 0 et 104 m ont été matérialisés sur le pylône. Les coordonnées spatiales de ces 24 points ont été mesurées au théodolite et rattachées à un référentiel spatial XYZ relié à des directions caractéristiques du pylône.

Les coordonnées théoriques des 24 points ont été calculées dans le référentiel XYZ à partir des plans de fabrication.

La comparaison entre les coordonnées relevées et les coordonnées théoriques découlant du calcul a permis d'apprécier le vecteur déformation de chacun des 24 points analysés. Ce vecteur était maximum à 104 m et valait 34,6 mm, la composante verticale extrême de ces vecteurs était de 28 mm, la composante horizontale extrême perpendiculairement au plan vertical théorique contenant la membrure, était de 13 mm et la composante horizontale extrême dans le plan vertical théorique contenant la membrure était de 28 mm.

Conclusion des relevés géométriques

Etant donné que les relevés de la géométrie du pylône qui avaient été réalisés lors de la construction de celui-ci, n'étaient plus disponibles, il n'était pas possible de définir les déformations par rapport à l'état avant accident.

On peut dire que les relevés des points d'épures faits après accident s'inscrivent dans les faisceaux de tolérance admis par les normes les plus sévères en construction métallique.

Il ne faut pas perdre de vue que toute mesure est affectée d'une erreur de lecture et que divers paramètres difficiles à évaluer occasionnent des déformations non négligeables, comme par exemple:

- affaissement du pylône sous son poids propre
- influence du vent sur la structure durant les relevés
- influence des températures différentielles
- tolérances de fabrication.

Il était donc raisonnable d'affirmer que les déformations relevées, reflétaient plus la cause des paramètres énumérés ci-avant, que les suites d'un accident.

Sollicitation des éléments du pylône sous l'impact
Etude théorique

Une analyse théorique du comportement du pylône sous l'impact de l'avion a été étudiée. Cette étude consiste à appliquer une impulsion (force en fonction du temps) à la structure et à l'aide d'un programme de calcul dynamique des structures, d'observer les variations des efforts dans les barres en fonction du temps.

La durée de l'impact est relativement simple à définir étant donné que la vitesse de l'avion était connue. L'ordre de grandeur max. retenue dans les calculs fut de 0.016 secondes. L'intensité de la force agissant pendant cette durée est supposée variant linéairement de 0 à une grandeur F à mi-durée et décroissant linéairement à 0 pendant la seconde moitié de l'impulsion. La grandeur F est inconnue, aucune méthode de calcul n'est capable de la définir à priori.

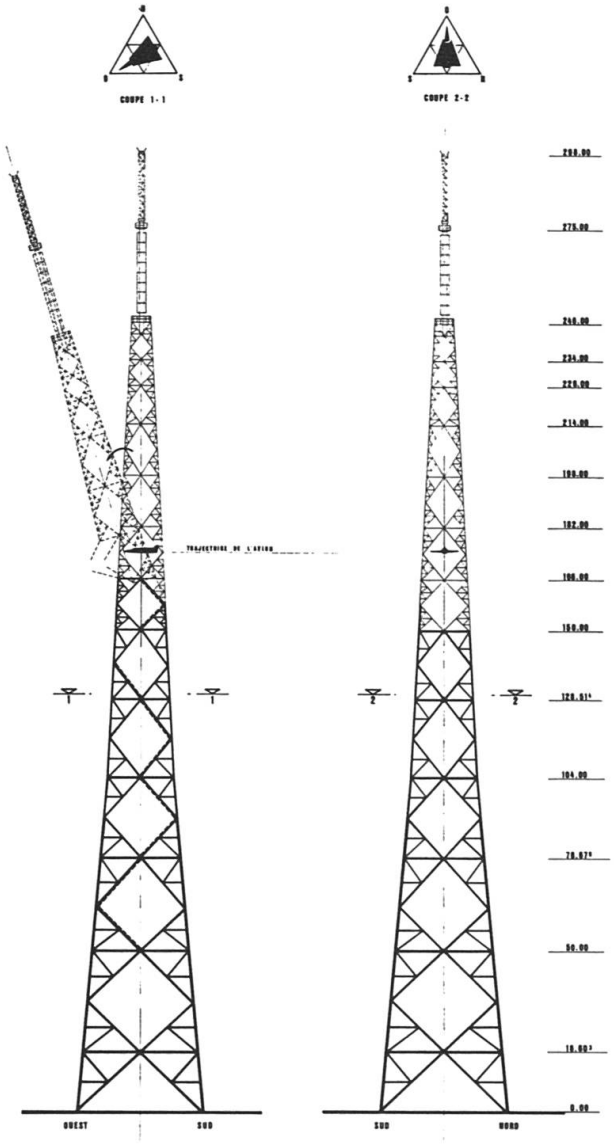
A partir du modèle de ruine décrit précédemment, on constate que l'avion a percuté la membrure «ouest» en un nœud d'assemblage des diagonales. Dans un premier temps l'assemblage des diagonales à la membrure a été arraché par cisaillement des boulons, dans un second temps la membrure a été sollicitée en flexion et s'est brisée net au-dessus de l'assemblage (acier peu ductile, effet d'entaille appréciable par la présence des soudures).

La force nécessaire à cisailler l'assemblage d'une diagonale est calculable (2.200 kN dans ce cas). La grandeur F de l'impulsion a donc été déterminée par tâtonnement en effectuant plusieurs calculs dynamiques de façon à cerner la valeur F engendrant la rupture des diagonales concernées. L'impulsion étant ainsi définie, on peut observer la variation de l'effort dans chaque barre en fonction du temps.

De ce calcul les conclusions suivantes ont pu être tirées:

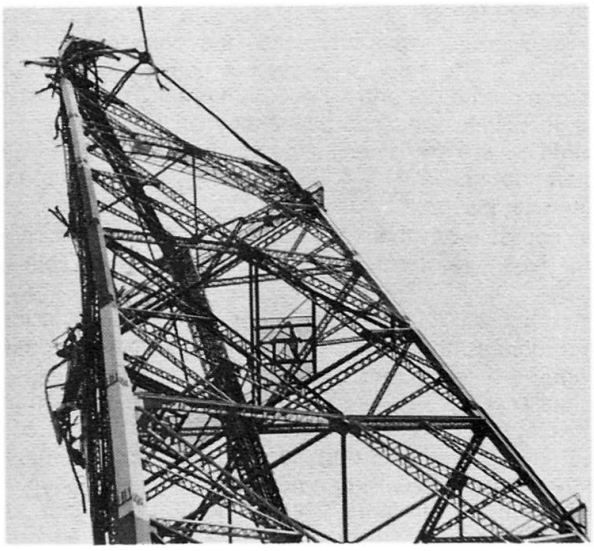
Entre le niveau 166 et 150 seulement 7 barres ont été sollicitées au-delà de la limite élastique de l'acier. Entre le niveau 139 et le sol, aucune barre n'a été sollicitée plus défavorablement que sous les conditions de services extrêmes. Les fondations n'ont pas été sollicitées plus défavorablement que sous l'effet d'un vent normal.

Les calculs théoriques donnaient ainsi une confirmation aux faibles déformations relevées sur site.



FACE SUD-OUEST FACE EST

— *barres restées en place après l'accident*
— *barres ayant reçu des sollicitations sévères lors de l'impact*



Contrôle métallurgique

Le but des essais métallurgiques fut d'apprécier les caractéristiques mécaniques des aciers des éléments structuraux provenant de zones proches du point d'impact et de zones supposées peu sollicitées par l'accident.

6 éprouvettes ont été prélevées sur des diagonales et testées mécaniquement suivant DIN 17100. Les tests ont montré que les limites d'élasticité des aciers n'ont pas été dépassées sous l'effet du choc, les essais d'allongement et de résilience étant toujours conformes à la norme.

Inspection visuelle des assemblages

Pour terminer les contrôles, une inspection générale des assemblages entre le niveau 128 et le sol a été réalisée par le constructeur. Ce contrôle a fait ressortir que les assemblages boulonnés aux points de croisement des diagonales avaient subi des glissements de l'ordre du jeu entre le perçage et le boulon.

Aucune ovalisation des perçages ni marques de cisaillement sur le fût des boulons, n'ont été décelées. Les assemblages à boulons ajustés n'ont présenté aucun signe de plastification locale.

Conclusion

Les diverses méthodes mises au point par les experts et le constructeur pour apprécier la qualité de la structure subsistante, ont toutes abouti à des conclusions concordantes.

Il devenait ainsi évident qu'une importante partie de la structure, restée en place après l'accident, pouvait être récupérée sans que la sécurité d'ensemble du pylône, une fois reconstruit, n'en soit amoindrie.

Un tronçon représentant ainsi 65 % du poids total de la construction fut récupéré, réduisant le coût et la durée de la reconstruction dans une proportion appréciable.

(G. Mauer)