



quelques câbles

storebaelt
east
bridge

pour
un
pont

Nicolas Brisset. Service topométrique du chantier GEC ALSTHOM SDEM

Le numéro 66 d'« XYZ » nous présentait un pont hors du commun en construction en Scandinavie : le pont du Storebælt qui reliera dans un proche avenir l'île de « sea-land » où se trouve Copenhague, à la partie continentale du Danemark. Nous allons ici continuer la présentation des travaux d'une manière générale, et des mesures topométriques, en particulier.

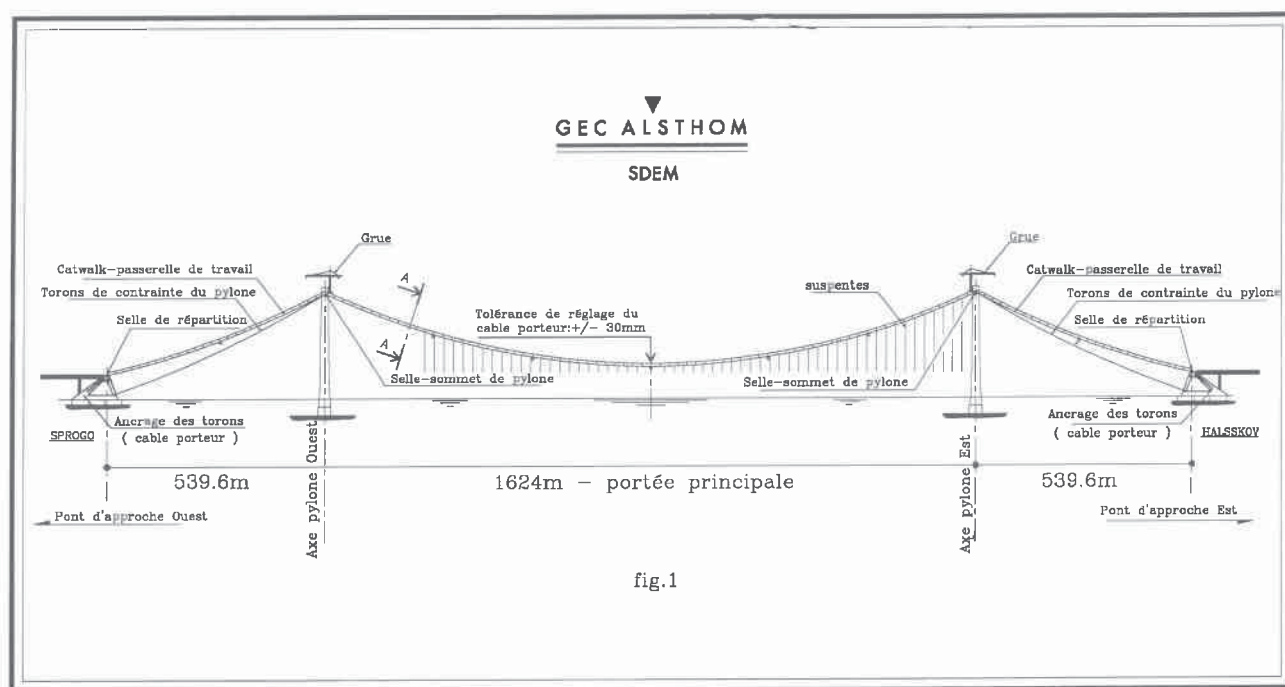
Les ponts d'approche Est et Ouest de respectivement 2700 et 1600 m de long sont terminés, et nos efforts se concentrent donc sur le pont suspendu central, d'une longueur totale de 2700 m, qui permet de franchir à plus de 65 mètres au dessus du niveau de la mer un canal maritime international qu'utilisent quotidiennement des navires de fort tonnage. La portée principale entre les deux pylônes qui culminent à 254 m, est de 1624 m, ce qui constitue le record de longueur du monde occidental. Une portée principale de 1900m a été réalisée récemment sur le pont d'Akashi Kayko, au Japon.

Nous nous intéressons plus particulièrement dans les lignes suivantes à la réalisation de la partie « câble » du pont suspendu, c'est à dire à la confection des câbles

porteurs et au montage des suspentes (voir fig.1). Les câbles porteurs principaux, au nombre de deux (un de part et d'autre du pont) sont en réalité fabriqués d'un seul tenant : leurs extrémités sont fixées aux 2 massifs d'ancrage construits en pleine mer, et sont supportés au sommet de chaque pylône par l'intermédiaire d'une selle d'environ 100 tonnes. Ils forment la pièce maîtresse de l'ouvrage : leur géométrie définit la régularité du profil en long et donc la répartition de la charge du pont sur l'ensemble des suspentes préfabriquées. Ils supportent l'ensemble du poids de la partie suspendue : leur solidité et leur qualité de fabrication doit être sans faille.

L'activité de montage de la partie câble se divise en trois grandes étapes : le pré-spinning, le spinning et le post spinning. Que de noms barbares (et anglais de surcroît !), mais j'espère vous éclairer en vous traduisant « spinning » par « tissage » et vous informant que le câble principal est en réalité tissé (ou filé !) sur place.

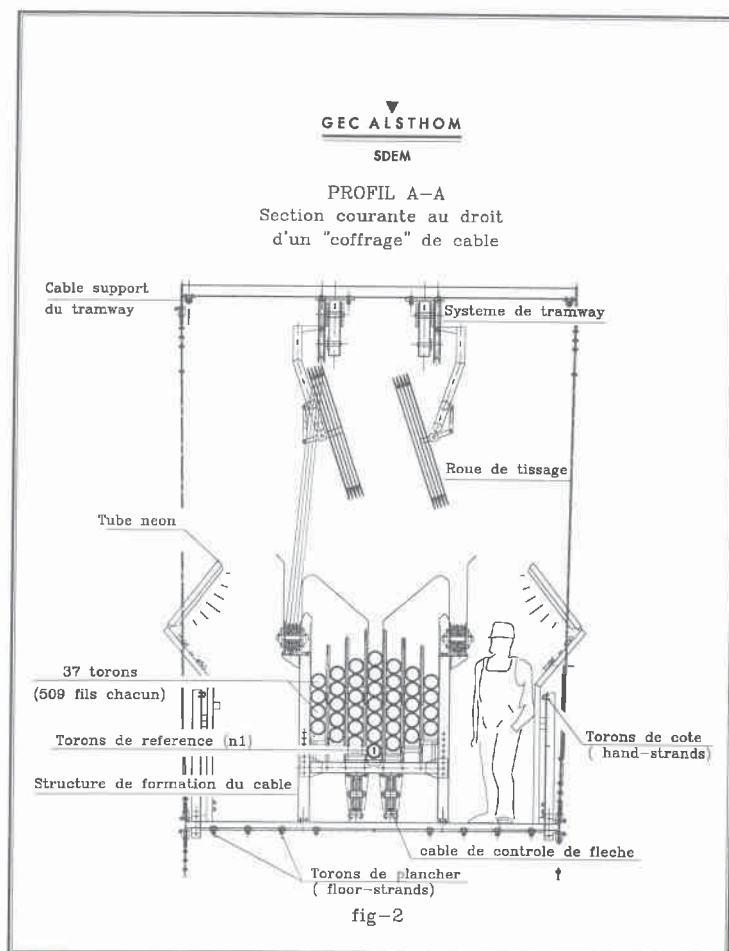
Les activités de « pré-tissage » rassemblent tous les travaux réalisés avant la confection du câble porteur lui-même. Dans le détail il s'agit des activités suivantes :



- Établissement des accès maritimes et des grues au sommet du pylône.
- Montage et réglage des structures métalliques provisoires en tête de pylône et massif d'ancrage.
- Montage et réglage des selles
- Mise en place des câbles de précontrainte arrière du pylône et mise en tension : en effet, afin d'obtenir un pylône vertical lorsque l'ensemble du pont est achevé (les tensions horizontales au sommet sont alors équilibrées), il a été nécessaire de contraindre cet appui de 1,240 m vers le massif d'ancrage, pendant la réalisation du câble porteur.
- Réalisation et réglage de la passerelle temporaire de travail, parallèle au profil du câble porteur. Le terme anglais pour cette passerelle se traduit par « chemin du chat », ce nom vous donne un ordre d'idée...
- Montage et ajustement de la machine de tissage (ou filage !) du câble principal.

L'ensemble de ces activités a débuté en novembre 1995 pour s'achever le 1^{er} juillet 1996, date de commencement du « tissage », ou spinning. Elle a mobilisé une moyenne de 40 personnes spécialisées dans les travaux de câbles, à mettre en œuvre en conditions difficiles et dangereuses. Les hautes exigences de sécurité inhérentes à ce genre d'ouvrage ont cependant été respectées, et ont permis de ne déplorer aucun accident grave pendant ces travaux.

L'activité tissage ou « spinning » consiste à fabriquer les deux câbles porteurs. Le câble est constitué de 37 torons eux-mêmes constitués de 509 fils métalliques galvanisés de 5mm de diamètre. Ceux-ci sont déposés à l'aide d'une roue mobile, qui voyage le long de la passerelle de travail (d'ancrage à ancrage et retour...) en utilisant un système de tramway. Ce procédé de tissage est la méthode traditionnelle de construction d'un câble de cette taille, contrairement au procédé mettant en œuvre des torons préfabriqués, particulièrement maîtrisée par les entreprises Japonaises. Il y a donc un total de 18833 fils dans chaque câble soit un total d'environ 110 000 kms de fils (plus de deux fois et demi le tour de notre terre...).



Une fois terminé, le câble porteur se présente sous forme hexagonale de hauteur et largeur 910 mm, pour un poids total, par câble, de 10 000 tonnes. Ce travail a été achevé dans un temps record de quatre mois et demi, et a mobilisé environ 200 personnes.

Après quelques célébrations réglementaires, l'activité du « post-spinning » (après tissage) a commencé fin novembre 96 et consiste, en détail, à la réalisation des travaux suivants :

- Compactage du câble porteur afin de réduire les espaces vides et donner au câble une forme circulaire de diamètre final 830mm.
- Montage des colliers et des suspentes associées.
- Protection du câble : mise en place d'un cerclage continu, étanchéité puis peinture.
- Travaux de démontage : machineries, structures métalliques, passerelle de travail etc.

L'achèvement de ces travaux coïncidera avec la fin de ceux engagés sur le tablier suspendu et nécessitera le travail d'une trentaine de personnes.

Les activités de mesure sont évidemment nécessaires, et d'une grande importance, durant tout le montage et spécialement à chaque phase d'ajustement. La position des câbles porteurs ainsi que l'emplacement des ancrages de suspentes définissent le profil final du tablier suspendu. L'erreur n'est pas possible. La faute encore moins.

Comme vous avez pu le constater, le travail des câbles est une succession d'activités différentes, rarement répétitives, qui demandent une adaptation quotidienne et la

mise en œuvre de procédés de mesures nouveaux. Cette difficulté donne une nouvelle dimension au travail du géomètre et rend la pratique topométrique appliquée à ce genre d'ouvrage particulièrement intéressante.

Je propose de décrire un peu plus en détail deux mesures innovantes, réalisées à deux moments critiques des travaux :

La première consistait à ajuster très précisément les huit câbles formant le plancher de la passerelle temporaire, dès le début de son montage, sans accès humain possible. Cette passerelle doit être rigoureusement parallèle au profil du câble porteur, puisqu'elle forme le « coffrage » des fils et des torons, pendant le tissage. Or, il est beaucoup plus facile et donc plus rapide d'ajuster ces câbles libres et non chargés (donc au tout début des activités) que de le faire une fois la passerelle complètement équipée. Afin de réaliser cette mesure, le service topométrique, associé au bureau d'étude, a conçu un chariot permettant de recevoir une antenne GPS enregistrant en mode cinématique (ou un prisme), maintenue verticale grâce à un système de balancier. Ce chariot fut placé et lancé sur les huit câbles se balançant encore libres. Le profil fut donc enregistré et ajusté dès le lendemain dans la chaînette théorique, calculée par le bureau d'étude. Cette mesure qui s'est avérée être un

succès, nous a permis de sauver quelques précieuses journées de réglage, juste avant le début du « tissage ».

La seconde est certainement la mesure la plus importante réalisée sur l'ensemble du pont. Elle consistait à ajuster le premier toron du câble porteur. Le toron terminé est formé de 509 fils maintenus ensemble à l'aide de cerclages réguliers, pour constituer un câble d'environ 130 m m de diamètre. Le but est alors de l'amener suivant une chaînette connue et libre (aucun point d'appui toléré entre les selles, d'où l'importance d'un réglage précis de la passerelle de travail). Le toron est manœuvré à l'aide de systèmes hydrauliques suivant les indications du géomètre. Le résultat de la mesure doit donc être connu en « temps réel ». Cependant, le profil théorique du câble dépend de 3 autres facteurs qu'il est nécessaire de mesurer précisément en même temps que l'altitude du centre de la portée. Il s'agit dans le détail de :

- L'altitude des selles au sommet du pylône (cette altitude varie en fonction de la température des armatures internes de cet appui)
- La distance exacte entre pylône et en particulier entre selles (distance variable de quelques centimètres au cours de la journée)
- La température du toron (mesurée en plusieurs points), qui doit être, au moment du réglage final, uniforme et constante (mesure effectuée de nuit)
- L'altitude au milieu de la portée principale a été déterminée à l'aide de la technique GPS temps réel, contrôlée par la méthode traditionnelle en visée depuis le sommet du pylône (utilisation de tachéomètres de précision type TC2002).

La tolérance contractuelle de réglage est de ± 30 mm. Les techniques et instrumentations de pointe sont alors obligatoires pour pouvoir espérer atteindre une telle précision. Les conditions extérieures doivent être idéales, et le vent, en particulier, doit être faible, voire nul.

Vous comprendrez aisément la difficulté et l'importance d'un tel réglage qui demande une énorme préparation sur le plan de la mesure elle-même. Tous les autres torons du câble porteur sont ajustés localement, en fonction du premier. Une fois encore, les conséquences d'une erreur sont inestimables. La faute : inconcevable.

Finalement, seul le souvenir inoubliable de quelques nuits blanches perdure. La satisfaction professionnelle d'un travail difficile, fini, et bien fait est tenace. Le géomètre est un maillon parfois oublié de la chaîne de travaux ; cependant, sur cet ouvrage, le travail de l'équipe topométrique est apprécié et reconnu. La confiance du client est un atout certain qu'il est nécessaire d'entretenir chaque jour, dans la volonté d'effectuer un travail de qualité. Le géomètre doit ici être le guide et le garant d'un réglage.

La réalisation de ces mesures m'a renforcé dans ma conviction que le géomètre doit rester humble, tant il doit apprendre chaque jour, comme chacun des ingénieurs travaillant sur le projet. La pratique de la mesure doit être associée à une connaissance de la structure. Seul, le géo-

mètre ne peut rien : l'équipe qu'il forme avec l'ingénieur d'étude et le calculateur est indissociable ; tous doivent se comprendre et parler le même langage.

Mesurer pour mesurer est inutile et surtout dangereux. Il est devenu complètement nécessaire de connaître et comprendre en détail ce que l'on va mesurer et pourquoi on le fait pour définir le moment, la technique et l'instrumentation à mettre en œuvre. Cette connaissance est indispensable pour définir de même l'ensemble des paramètres à appréhender, les conditions à réunir et l'emplacement de la mesure afin d'obtenir un résultat fiable, exploitable et de qualité. Ceci est particulièrement applicable au réglage des câbles qui sont, par définition, des structures instables et soumises à l'influence des nombreux éléments extérieurs.

Les quatre grues spécialement conçues pour le levage des sections suspendues sont désormais en place. Le premier élément préfabriqué sera monté dans un avenir proche. Les travaux se continueront tout l'été pour s'achever à l'automne prochain. Plus que 2700 m à gagner sur la (haute) mer, une paille...

NDLR. Rappelons que la Fédération Internationale des Géomètres (FIG) organise à Copenhague un symposium du 2 au 6 juin 97 sur le thème « Topographie des projets de tunnels et grands ponts ». À cette occasion est organisée une visite du chantier décrit et d'autres ouvrages du lien fixe Danemark/Suède.

