

Bibliographie

LES CABLES METALLIQUES DANS LA PRATIQUE, par Dipl.-Ing. R. Meebold - 108 p. in-8° - 121 fig. - Ed. Springer, Berlin 1953 - 2^{me} édition.

Die Drahtseile in der Praxis.

Ce livre a pour objet de présenter sous une forme condensée tout ce que doivent connaître ceux qui emploient les câbles; il est divisé en deux parties : 1) la construction; 2) les câbles en service.

Les câbles sont classés en deux catégories :

1) ceux qui passent continuellement sur des appareils d'enroulement et subissent par conséquent une grande fatigue de flexion (câbles d'extraction, de transport en galeries ou plans inclinés, en tailles, scraper, haveuses, treuils de fonçage et de pompes).

2) Câbles qui travaillent principalement à l'extension : porteurs de transports aériens, ponts suspendus, câbles grues, câbles guides, ancrages.

Le chapitre intitulé « *Choix d'une espèce de câble* » expose et discute les modes de fabrication des câbles, ronds ou plats, torons, aussières à une ou plusieurs couvertures, câbles clos, câbles true-lay. On étudie spécialement les phénomènes de la flexion et de la détorsion dans chaque système, en particulier dans les câbles à torons plats ou triangulaires. Ceux-ci ont l'avantage d'une forte densité apparente et d'une grande surface d'appui; les âmes en fers spéciaux qui cassaient souvent sont remplacées actuellement par des tresses de 3 ou 6 fils de section circulaire. Entre autres conclusions, signalons que l'auteur proscrit l'enroulement Lang pour les contre-câbles des poulies Koepe et l'utilisation, comme câbles d'équilibre, de câbles d'extraction hors service.

Les câbles de la seconde catégorie sont du type clos ou semi-clos et, comme ils sont mis artificiellement sous forte tension, il faut les fabriquer en fils d'acier à haute résistance.

Le « *Calcul des câbles* » est basé sur la contrainte par extension exclusivement, parce qu'il n'existe aucune formule satisfaisante pour exprimer en nombres la contrainte de flexion. Les formules de Reuleaux ou de Bach donnent des résultats manifestement exagérés et elles ne tiennent aucun compte de la texture du câble qui a cependant une influence énorme. Il a fallu avoir recours à des essais de laboratoire. Au banc d'épreuves de la Caisse des Charbonnages de Bochum, on a fait des essais de durée consistant à soumettre les câbles à des milliers de flexions alternatives et à compter le nombre de fils cassés par mètre de longueur, ce qui

permet de classer les câbles d'après leur mode de fabrication, leur diamètre, le diamètre et la dureté des fils d'acier. Les ruptures de fils ont donné lieu à des observations très intéressantes; elles se produisent toujours sur la face concave, c'est-à-dire celle par où le câble repose sur la poulie. Comme les fils ne cassent pas par compression, l'état de contrainte du câble n'est pas du tout comparable à celui d'une bande enroulée dont les fibres extérieures sont tendues et celles d'intérieur comprimées.

En réalité, les fils du câble ne s'appuient pas l'un sur l'autre d'une façon continue, spécialement d'un toron à l'autre. La pression transversale, c.à.d. la réaction de la poulie, agit pour produire une flexion des fils dans l'intervalle entre deux points d'appui et cet effet est accentué par la tendance à l'aplatissement de la section du câble. Ce double effet est en raison inverse du rayon d'enroulement.

Il ne faut pas attribuer une confiance absolue au classement des câbles d'après des essais d'oscillations pendulaires sur poulie fixe parce que dans la pratique, quand un câble s'enroule, les faces d'appui changent continuellement; la giration fait passer les fils extérieurs d'une face à l'autre et il y a en outre les trépidations inévitables. Il faut dans chaque cas se guider d'après la nature des installations, l'expérience acquise et les statistiques de durée des câbles.

Pour en revenir au calcul, on n'a d'autre ressource que d'appliquer la formule de la tension simple, avec un coefficient de sécurité convenable. Ceci suppose la connaissance de la charge de rupture qui peut être, soit déterminée par un essai direct à section entière, soit calculée par la somme de la résistance des fils diminuée de la perte au câblage (7 à 15 %). Le coefficient de sécurité varie de 8 à 5 suivant que l'on considère uniquement les charges statiques ou que l'on fait intervenir les efforts dynamiques.

Au chapitre « *Matériaux des câbles* », l'auteur discute longuement la question de l'emploi des aciers durs allant jusqu'à 200 kg/m² de charge de rupture. Cette charge ne peut être atteinte qu'avec les fils de moins de 3 mm de diamètre (180 kg/m² avec 3,6 limite pratique du diamètre). Les aciers durs résistent beaucoup moins bien aux flexions répétées. Sauf les cas où les conditions de légèreté et de petit diamètre priment toutes les autres, il vaut mieux s'en tenir aux aciers à 120—140 kg/mm².

Les fils galvanisés servent à préserver les câbles de la corrosion. L'opinion que leurs propriétés mécaniques sont affaiblies n'a aucun fondement quand la couche de zinc est suffisante (100 à 150 kg de

zinc par mètre carré de surface externe). Le prix des aciers inoxydables est prohibitif.

La première partie de l'ouvrage se termine par un chapitre très important intitulé : « *Division de la section du câble. Diamètre du câble, nombre et arrangement des fils* ».

Le meilleur diamètre du fil représente un compromis entre des exigences très diverses, flexibilité, résistance à l'usure, au choc, à la corrosion, complication de la fabrication. Une relation empirique entre le diamètre du fil (δ) et celui du câble (d) est donnée par

$$\delta = \frac{d}{50} \pm 1 \text{ mm}$$

avec des écarts possibles de $-0,2$ à $+0,4$ suivant les données du problème. Le diamètre du câble ne doit pas dépasser 72 mm pour les câbles d'extraction (charge de rupture 375 t, poids métrique 20 kg) ou 80 mm pour les câbles de ponts suspendus. Si les charges sont plus fortes, il faut les répartir sur plusieurs câbles. Cette limite est imposée par les difficultés de manutention.

En traitant de la disposition des fils, l'auteur part du toron type à 6 fils, avec âme métallique constituée par un fil de diamètre légèrement plus gros, en même acier, puis il passe en revue le toron à plusieurs couvertures et les câbles, de beaucoup les plus usuels, à 6 torons enroulés autour d'une âme en chanvre et les câbles à 8 torons enroulés sur un toron central. Il entre dans des considérations géométriques et pratiques sur le diamètre des âmes, le pas des hélices, l'association des fils de différents diamètres, la longueur des fils dans le câble (câbles à hélices parallèles Scale, Warrington). Actuellement beaucoup de modèles sont standardisés, ce qui facilite le choix de l'acheteur.

La deuxième partie : « *Les câbles en service* » comprend les chapitres suivants :

- 1 — Influence des installations sur la tenue des câbles;
- 2 — Attaches;
- 3 — Usure, détorsion, déformations;
- 4 — Ruptures des fils;
- 5 — Corrosion.

1. — Quel que soit le système d'enroulement : tambour, poulie ou bobine, la pratique aussi bien que les essais au banc d'épreuves ont montré incontestablement que la bonne tenue du câble dépend du rapport entre le diamètre du câble et celui de l'appareil d'enroulement. On n'attache plus aucune importance au rapport de ce dernier diamètre à celui du fil, puisqu'il est établi que les ruptures de fil ne s'expliquent que par des flexions secondaires dues à la pression transversale. Cette pression doit être aussi basse que possible. Les rapports $\frac{D}{d}$ doivent avoir un minimum de 100

pour les câbles clos, 60 pour les aussières et 40 pour les grelins. Ces chiffres sont largement dépassés dans les puits d'extraction, mais on reste en dessous, par raison d'encombrement, dans les chan-

tiers souterrains. Il faut alors réduire le plus possible le diamètre du câble. Les petites poulies et galets guides, du moment qu'il y a déviation, ont une influence très nuisible.

Un point très important est celui de la forme des rainures des tambours ou des gorges des poulies; elle doit être hémicylindrique, d'un diamètre dépassant celui du câble de 1 à 2 mm. Comme on est amené à changer de câbles, et qu'il n'est pas possible de tourner exactement chaque fois l'appareil d'enroulement, l'emploi de garnitures en bois, cuir, caoutchouc, fournit la meilleure solution, le câble creuse automatiquement sa rainure. Enfin, il faut éviter l'obliquité, les pressions latérales et tous les frottements contre les objets extérieurs, parce qu'ils sont une cause directe d'usure et d'efforts dynamiques.

2. — *L'attache* des deux parties de câble peut se faire d'abord par épissure; elle est interdite pour les câbles d'extraction, tolérée pour les câbles d'équilibre, fréquente dans les transports horizontaux ou inclinés de grande longueur. Ici, on emploie également des accouplements par manchons, le câble étant maintenu par frottement ou par un alliage fusible. Ces mêmes procédés peuvent servir à fixer les extrémités des câbles aux tambours. On donne des détails sur les procédés d'exécution et, enfin, on décrit brièvement divers systèmes d'attache des cages.

3. — *L'usure* commence toujours par les fils extérieurs qui perdent de leur section; si le câble est fortement coincé, il y a en plus écrouissage des fils et sur ceux-ci apparaissent des arêtes tranchantes. A la longue, les fils amincis perdent leur cohésion avec le reste du câble et ne participent plus à la traction. Tout l'effort se reporte sur les fils intérieurs qui sont usés à leur tour par les fils extérieurs au passage sur les poulies. Cet état est dangereux et il faut déposer le câble, même s'il n'y a pas beaucoup de fils cassés.

Une autre cause de décollement des câbles est l'inégale répartition des contraintes dans les fils, la déformation des hélices et les allongements élastiques variant du centre à la périphérie. Les câbles étant soumis à des efforts continuellement variables, les torsions et détorsions engendrent des frottements internes, des tensions excessives et un allongement permanent du câble.

Si la pression sur les molettes est grande, le coup de fouet au démarrage a pour résultat de faire saillir des fils de chaque toron au voisinage de la patte. C'est particulièrement dangereux pour les câbles clos.

Parmi les autres déformations, l'auteur montre des fils prélevés sur un câble de fonçage à enroulement direct, rompu après deux mois de service. Ces fils sont tordus comme dans l'appareil d'essai. Lors de la pose des câbles, il faut prendre des précautions pour empêcher la détorsion et la formation de boucles; de même, lorsqu'on donne du mou au câble pendant les manœuvres.

La déformation en tire-bouchon est due au glissement des torons l'un sur l'autre, l'enveloppe des fils extérieurs n'est plus circulaire, ce qui pro-

vient de la faiblesse ou du déplacement de l'âme. Les câbles ainsi déformés n'accusent au banc d'épreuve aucune perte de la charge de rupture; mais ils sont plus sujets à l'usure et leur vie en est raccourcie.

La formation de nœuds et de ventres provient aussi d'une rupture ou d'un écrasement de l'âme en chanvre antérieurs à l'usure des fils d'acier; elle est due principalement aux vibrations. Peu inquiétante au début, cette déformation accentue l'usure.

Une déformation propre au câble clos et mal expliquée est celle de l'allure serpentine au voisinage de la patte; elle provient de ce que les fils de l'enveloppe extérieure s'allongent moins que ceux du noyau central et elle apparaît quelquefois dès le début de la mise en service. Les câbles plats présentent parfois des étreintes et des renflements et des rejets d'une aussière par rapport à l'autre avec rupture des fils de couture.

4. — Les ruptures de fils sont dues, soit à une surtension brusque, soit aux charges permanentes. Les extrémités des fils cassés indiquent si la rupture a eu lieu par tension, flexion ou torsion ou cisaillement. Les surtensions pendant l'extraction sont dues par exemple au coincement ou au choc de la cage montante et au fait que le câble prend du mou pendant la descente.

La grande majorité des ruptures de fil est due à la fatigue en service et principalement aux flexions secondaires sur l'appareil d'enroulement. La section la plus amincie se brise; la rupture débute souvent par des blessures extérieures ou par une fine fissure diamétrale; les fils rompus se déploient à l'extérieur et doivent être recoupés. Ils s'éparpillent tout au long du câble sans altérer sensiblement sa résistance, mais il y a aussi des accumulations locales de fils rompus. On juge de l'affaiblissement du câble par le nombre de ruptures sur une longueur de 5 ou 6 pas d'hélices; la longueur critique est plus longue dans les câbles à enroulement croisé que dans ceux à enroulement direct en vertu de la différence de cohésion.

Les ruptures invisibles se trahissent à l'extérieur lorsque les fils rompus exercent une poussée sur les fils extérieurs. Dans les câbles clos, les fils intérieurs peuvent casser sans qu'on en ait aucun indice. Pour les déceler, il existe des procédés électriques donnant de bons résultats, mais délicats et peu commodes. L'ouvrage en donne le principe et un exemple.

Enfin, il y a des ruptures des fils intérieurs dans les parties du câble qui ne s'enroulent pas et elles sont dues au coup de fouet de démarrage, spécialement avec les machines à vapeur. Elles sont dues aux réactions mutuelles des torons et de l'âme. On les reconnaît et on y remédie par le coupage périodique des pattes. Avec poulie Koepe, on a eu diverses ruptures de câble à l'endroit des attaches. L'état du câble peut être décelé par voie électromagnétique au-dessus de l'attelage, mais malheureusement, pas dans celui-ci même. Lorsque la patte devient suspecte, il faut arrêter l'extraction, détacher les cages et détordre les extrémités du câble pour examiner l'état des torons.

5. — La corrosion et les moyens préventifs font l'objet du dernier chapitre. La rouille peut être

superficielle ou mordre à l'intérieur du fil; elle gagne vers l'intérieur dans les câbles à texture lâche (enroulement direct) ou devenue telle par l'usure. La rouille soude les fils des câbles inactifs dans les puits et les attaque profondément.

Particulièrement vulnérable est aussi la partie des câbles d'équilibre qui fait la boucle au fond du puits quand les cages sont aux recettes.

Les procédés électro-magnétiques permettent de déceler la corrosion par comparaison avec un câble intact (Bochum, Canada) ou avec le même câble à un état antérieur. On donne quelques détails sur la galvanisation, le graissage intérieur et extérieur, les produits spéciaux pour câbles Koepe (verniss, laque, graphite colloïdal), la peinture au minium des câbles porteurs aériens.

L'ouvrage se termine par une liste de références allant jusqu'à 1950.

En résumé, le Dr.-Ing. Meebold nous apporte une documentation substantielle, exempte de statistiques et de tableaux numériques, clairement présentée et appuyée d'observations critiques judicieuses. Ce livre sera très utile aux élèves ingénieurs et à tous les techniciens qui emploient des câbles.

L. D.

STATISTIQUE ECONOMIQUE MONDIALE DU CHARBON 1953 - Publié par la Deutsche Kohlenbergbau-Leitung. - Editions Glückauf - Essen - 228 pages de tableaux.

Die Kohlenwirtschaft der Welt in Zahlen.

Cet important ouvrage passe en revue 60 pays producteurs et renseigne les données publiées sur la production du charbon et du coke, la consommation, le commerce extérieur, le personnel occupé, les prix, les salaires et les rendements; l'application des machines dans les charbonnages des Etats-Unis, de la France, de la Belgique et de la Grande-Bretagne est une innovation du présent volume. Les tableaux comparatifs ont été complétés, notamment en ce qui concerne les réserves de combustibles, la production de l'énergie, les pétroles, les minerais de fer et l'acier. On a mis à part la Communauté Européenne du Charbon et de l'Acier.

La production de l'Allemagne est naturellement présentée d'une façon assez développée et subdivisée suivant les districts et la nature du combustible, charbon, lignite, coke, briquettes, sous-produits.

Cet ouvrage mis à jour au 30 juin 1953 est indispensable à tous ceux qui participent à la production, au commerce et à l'utilisation des charbons.

RENSEIGNEMENTS COMMERCIAUX RELATIFS AUX PRINCIPALES PRODUCTIONS DU CONGO BELGE ET DU RUANDA-URUNDI. - Centre d'Information et de Documentation du Congo belge et du Ruanda-Urundi, 94, rue de la Loi, Bruxelles. — Tél. 12.12.10.

Le Centre d'Information et de Documentation du Congo Belge et du Ruanda-Urundi vient de faire paraître l'édition 1953 de la brochure « Rensei-

gnements commerciaux relatifs aux principales productions du Congo Belge et du Ruanda-Urundi ».

Celle-ci mentionne pour chacune d'elle, outre une courte notice, les principaux producteurs, exportateurs et consignataires en Belgique ainsi que le relevé des exportations par années par quantité et leur valeur en milliers de francs.

Ces renseignements constituent une documentation fort utile pour les commerçants, industriels importateurs et courtiers qui désirent entrer en relation d'affaires avec le Congo Belge et le Ruanda-

Urundi. Ces deux pays et la Belgique peuvent entretenir des relations commerciales sans limite, en une sorte de marché intérieur, puisqu'ils font partie de la même zone monétaire.

Pour obtenir cete brochure, il suffit de verser 20 F au C.C.P. 674.72 du Centre d'Information et de Documentation du Congo Belge et du Ruanda-Urundi, 94, rue de la Loi, à Bruxelles.

Elle est également mise en vente, ou peut être consultée dans sa bibliothèque, accessible aux visiteurs les jours ouvrables de 9 à 17 h, le samedi de 9 heures à midi.