Nous offrons...

aux propriétaires d'appareils à vapeur, d'étudier tous problèmes se rapportant à la combustion de tous les charbons et à la récupération des chaleurs perdues.

Le matériel WANSON : Economiseurs, Réchauffeurs d'air, etc., vous assurera, dans chaque cas, la solution idéale.

Demandez-nous notre notice

30 ANS D'EXPERIENCE

Nombreuses références.

ETABLISSEMENTS

Wanson

CONSTRUCTION DE MATERIEL THERMIQUE • S. A.

222, RUE ROYALE • BRUXELLES • TÉLÉPHONE : 17.80.34

Fr. Delamare, 51, r. de Florence, Brux.

NOTES DIVERSES

Les âmes en textile des câbles métalliques de levage et de traction

par F. MERCX,

Ingénieur des Constructions civiles A.I.Br.,

Directeur Technique de l'Association des Industriels de Belgique pour la Prévention des Accidents du Travail, Bruxelles.

I. — ROLE DES AMES EN TEXTILE.

Au cours de leurs contrôles, les Inspecteurs de l'Association des Industriels de Belgique constatent fréquemment aux câbles métalliques de levage et de traction des déformations du genre dit « tire-bouchons ». En règle générale, ce défaut est attribuable à l'insuffisance de l'âme du câble. Ainsi apparaît l'un des deux rôles principaux dévolus aux âmes des câbles : servir de supports aux torons, en résistant aux pressions extérieures.

Le second rôle consiste à lubrifier l'intérieur des câbles. Malgré toute sa fluidité, l'huile appliquée extérieurement ne parvient pas à pénétrer au cœur des câbles, par suite de la pression développée par le serrage des torons. L'âme fera donc office de réservoir de lubrifiant. Pour montrer toute l'importance de cette remarque, il suffit d'attirer l'attention sur le fait que l'absence de graissage interne laisse le champ libre à l'action de la corrosion et que celle-ci ronge rapidement l'intérieur des câbles sans qu'aucun signe apparaisse à l'extérieur, créant ainsi un grave danger de rupture inattendue.

II. — QUALITES DES AMES EN TEXTILE.

Les âmes en textile doivent, en ordre principal :

1° Présenter une résistance suffisante à la traction;

2° Etre bien fabriquées;

3° Etre inaltérables aux intempéries;

4° Se laisser imprégner et retenir le lubrifiant;

5° Ne pas constituer, par elles-mêmes, une cause de corrosion pour les câbles.

1° *Les câbles doivent présenter une résistance suffisante à la traction.*

Les câbles sont soumis à des efforts de traction qui sollicitent également, quoique dans une mesure moindre, les âmes en textile (celles-ci étant plus extensibles que les fils en acier). Si l'on néglige, pour estimer la résistance d'un câble, la tension supportée par l'âme, il faut cependant tenir compte de l'effort qui sollicite cette dernière, afin d'éviter les ruptures locales.

Le textile le plus résistant est composé de fibres longues et lisses. En règle générale, les fibres courtes et rugueuses caractérisent les matières de moindre qualité.

2° *Les âmes doivent être bien fabriquées.*

Cependant, il ne suffit pas que les fibres soient longues, le textile doit être soigneusement cardé et peigné, pour profiter de la résistance offerte par la nature même de la matière.

Les éléments ainsi préparés vont constituer les fils de caret; en d'autres termes, ils vont être disposés en hélices plus ou moins régulières. Il y a donc lieu de prendre toutes les précautions voulues pour que, par un tressage et un serrage invariables, la résistance du fil de caret présente le maximum d'uniformité. Il y a donc lieu également de veiller à ce que la densité du textile soit égale sur toute la longueur des fils de caret.

Ceux-ci sont, à leur tour, torsadés en hélices pour constituer les âmes, opération qui peut introduire une nouvelle cause d'irrégularité dans la résistance des âmes. Le serrage

doit être réalisé de façon uniforme et le pas des hélices doit être régulier sur toute la longueur des âmes.

Si cela est réalisé, la densité du textile sera pratiquement constante. Pour qu'elle soit suffisante, d'une part, et pour que la matière soit de bonne qualité, d'autre part, il faut que la charge de rupture unitaire ne descende pas sous 800 Kgs par cm^2, quelle que soit la nature de la fibre utilisée.

Les conditions énoncées ci-dessus, nécessaires pour obtenir de bonnes âmes, ne sont pas encore suffisantes, car le textile placé au milieu des câbles métalliques doit résister aux pressions latérales, de façon à constituer, pour les torons, un support convenable. Ces deux buts sont atteints si l'on donne aux âmes un diamètre suffisant, toutes les autres stipulations étant respectées.

Cette question prend beaucoup plus d'importance dans le cas des câbles tracteurs à cause des pincements provoqués par les appareils d'accrochage des véhicules.

Le diamètre des âmes ne peut se déterminer exactement, par suite de la section en forme d'étoile; toutefois, on tourne la difficulté en calculant le poids du textile nécessaire par mètre courant.

3° *Les âmes doivent être inaltérables aux intempéries.*

Les âmes des câbles assurant un service à l'extérieur subissent l'influence des intempéries. Au bout d'un certain temps, elles peuvent donc diminuer de diamètre et même disparaître localement. Dès lors, les câbles sont exposés aux déformations.

Cette remarque perd beaucoup de son importance depuis que, sous l'impulsion de l'Association des Industriels de Belgique, les âmes des câbles sont bien graissées lors de la fabrication et les câbles lubrifiés au cours de leur service.

Cependant, elle doit être mentionnée, car bon nombre d'usagers emploient des câbles en fils galvanisés. Or, les âmes, lors de la construction de ces câbles, ne sont pas suffisamment lubrifiées et les câbles en service ne sont pas graissés parce que l'on considère que la galvanisation protège les fils. Le textile est donc exposé à la pourriture.

Il faut encore signaler le cas de câbles fonctionnant dans des endroits et des conditions excluant les possibilités de lubrification à cause des difficultés d'accès ou de la nécessité d'avoir une adhérence suffisante sur les poulies d'entraînement. En pareilles occurrences, il faut utiliser le textile de la meilleure qualité et résistant le mieux aux alternances de sécheresse et d'humidité.

4° *Les âmes doivent se laisser aisément imprégner et retenir le lubrifiant.*

Certaines fibres ne se laissent pas imprégner par le lubrifiant. D'autres absorbent aisément ce dernier, mais le laissent partir avec autant de facilité. Enfin, quelques-unes se saturent d'huile et en conservent suffisamment, malgré les pressions latérales, pour maintenir gras les fils du câble.

5° *Les âmes ne peuvent constituer par elles-mêmes une cause de corrosion.*

A. *Huiles d'imprégnation.*

Les fibres sont assouplies avant toute transformation, à l'aide d'une émulsion d'huile et d'eau, d'huile, de goudron de bois ou de houille, d'imprégnants d'origine animale. Le poids de substance ainsi utilisée représente environ 5 à 15 % de celui de l'âme.

Or, il se fait que certains de ces produits contiennent des principes nocifs, — notamment des acides organiques, — qui provoquent la corrosion des parties des fils au contact de l'âme. Nous avons eu maintes fois l'occasion de constater une très sérieuse altération de l'espèce sur des câbles métalliques *avant leur mise en service*. La quantité de substance d'ensimage indiquée ci-dessus donne nettement une idée du degré de virulence de l'attaque.

Dans un article intitulé « Influence de l'âme en chanvre sur la corrosion interne des câbles d'extraction », paru dans la revue allemande *Glückauf*, numéro du 12 février 1938, page 131 (voir l'*Année des Câbles*, n° 18, 1939, — de l'A.I.B., — page 45), Wöhlbier conseille de proscrire radicalement le

goudron de bois parce qu'il contient toujours des acides organiques.

Dans le même article, l'auteur donne le moyen d'évaluer le degré de corrosion provoqué par l'âme :

« Comme la corrosion des fils d'acier est accompagnée de » la formation d'oxyde de fer qui se détache en partie et » vient à pénétrer à l'intérieur de l'âme ou adhérer à celle- » ci, la détermination de la teneur en fer de l'âme offre un » moyen d'établir exactement le degré de corrosion. Le » résultat d'analyses répondant à ce but et faites sur cinq » bouts de câbles ressort de la récapitulation suivante :

Degré de la corrosion	Teneur en fer de l'âme en chanvre en %.
Importante	6,6
Importante	5,7
Au début	1,5
Au début	1,3
Nulle	0,2

» Ces valeurs permettent de reconnaître clairement les » relations existant entre le degré de corrosion et les teneurs » en fer de l'âme en chanvre. »

D'après Wöhlbier, la teneur en cendre du textile neuf varie entre 0,5 et 3,5 % ; elle augmente selon une loi linéaire (figure 1) lorsque la corrosion progresse. Le diagramme s'éloi-

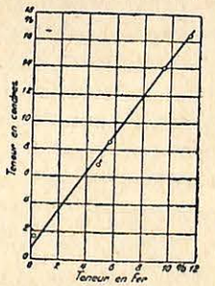


Fig. 1. Relations entre les teneurs en cendres et en fer d'une âme en chanvre.

gne de la ligne droite dans les seuls cas d'une corrosion importante et de la présence de corps étrangers (poussière de charbon, par exemple).

Des recherches faites sur des câbles mis hors service, en Allemagne, montrent que, jusqu'à un certain point (teneur critique en huile comprise entre 3 et 6 %), le degré de corrosion augmente quand le pourcentage d'huile de l'âme diminue (figure 2).

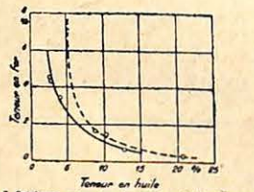


Fig. 2. Relations entre les teneurs en huile et en fer d'une âme en chanvre.

Dans l'article précédemment cité, il est dit que les textiles contiennent toujours de 10 à 11,5 % d'humidité et que cette proportion est indépendante de la quantité d'huile de lubrification de l'âme. L'auteur écrit :

« Une dessiccation plus parfaite pourrait être réalisée en » prolongeant la durée de la dessiccation à la température » de 110° C. Cette mesure ne donnerait cependant qu'un » résultat peu important car la fibre a une tendance, d'une » part, de devenir plus cassante et, d'autre part, de bientôt » absorber à nouveau l'humidité. »

Le douzième rapport de « The Safety in Mines Research Board », dans un appendice qui fait l'objet d'une mention spéciale dans la revue *The Colliery Guardian* (numéro du 7 septembre 1934, page 439, — *L'Année des Câbles*, n° 14, — 1935, — page 92), dit entre autres choses :

« Les analyses des âmes en textile de câbles en service et » de câbles déposés ont été poursuivies. Les résultats mon- » trent que les âmes peuvent être divisées en deux classes. » La première groupe les âmes qui ont été traitées au goudron » de bois. Cette matière est acide et peut réagir avec l'acier, » en présence de l'eau. Comme les fibres contiennent tou- » jours un peu d'humidité, l'attaque du métal est inévitable.

» La deuxième classe comprend les âmes traitées avec des

» huiles minérales. Par rapport au goudron de bois, ces » apprêts ont une activité valant environ 1/20e et elles ne » paraissent pas être nocives pour l'acier, même en présence » d'humidité.

» Des expériences ont eu lieu sur des fibres brutes exemptes » d'huile; dans des conditions standard, on trouva que les » âmes en chanvre corrodaient le métal. L'attaque était pro- » portionnelle au degré d'acidité du textile. Celle-ci apparaît » naturellement dans le câble et est attribuée à la décompo- » sition bactérielle de certains constituants. L'attaque ne se » produit qu'en présence d'humidité. On explique ce phé- » nomène par le fait que l'acide de l'âme corrode l'acier et » que l'eau hydrolyse le produit résultant, donnant lieu à un » mélange d'oxydes de fer et régénérant l'acide. Le lubri- » fiant protège le câble en empêchant l'hydrolyse. »

A signaler encore que, d'une enquête faite par l'Association des Industriels de Belgique, il résulte que certains fabricants utilisent de l'huile minérale ne contenant que « très peu d'acide » ou de l'huile minérale mélangée à l'huile de baleine n'ayant qu'un « léger pourcentage d'acide gras », ou d'huile minérale « renfermant 1 % d'acide oléique », ou de « l'eau saponifiée » ou de « l'huile de baleine ». Tous ces produits contiennent donc un principe dangereux pour les fils des câbles en acier clair.

B. — *Décomposition de l'âme.*

L'âme des câbles en service est exposée à la pourriture, décomposition donnant naissance à des bactéries qui secrètent des acides organiques très nocifs pour l'acier, surtout si ce dernier a subi une déformation à froid (tréfilage). Le manille, notamment, peut donner naissance à des acides formique et acétique (*Colliery Guardian*, 19 mars 1937, page 573, — *L'Année des Câbles*, n° 17, 1937, page 61 : « L'Influence de l'âme en textile sur la corrosion interne des câbles d'extraction »).

Comme il a été dit précédemment, l'eau hydrolyse les produits de corrosion, donnant lieu à un mélange d'oxydes et régénérant l'acide. De plus, la pression entre les fils et le textile tend à accélérer l'attaque, car elle élimine le lubri-

fiant utilisé au cours de la fabrication de l'âme et facilite le contact entre le métal et la fibre.

En conséquence, les substances employées, tant pour l'ensimage que pour la lubrification, doivent empêcher la décomposition de l'âme, de même que le contact direct entre le textile et les fils du câble.

Pour être complet, nous pensons devoir signaler le passage ci-dessous, extrait de l'article précité :

« La plupart des acides nuisibles des âmes en textile peu-» vent être éliminés par un traitement à l'eau froide, puis » en les traitant avec un antiseptique inoffensif vis-à-vis de » l'acier. *L'efficacité de cette méthode n'a pas encore été démontrée.* »

C. — *Spécifications relatives au lubrifiant.*

Le risque de corrosion intérieure, du fait de l'âme, existe réellement. C'est un danger qui ne peut être négligé, car, même si certains spécialistes sont capables de déceler les ruptures internes de fils en se basant sur des indices extérieurs, l'affaiblissement en résultant du câble n'en constitue pas moins une épée de Damoclès suspendue au-dessus de la tête du personnel transporté.

Il importe donc de prendre toutes les mesures capables de lutter contre la corrosion, facteur de destruction interne. Pour cela, il faut imprégner, à refus, toutes les âmes en textile, et ce, avec un lubrifiant répondant aux conditions énumérées ci après, prescrites par le cahier des charges de l'A.I.B., qu'il s'agisse du produit d'ensimage ou de la substance utilisée pour le graissage lors de la fabrication.

Nature du lubrifiant.

Les lubrifiants seront à base d'huile et de graisse minérales à l'exclusion de goudrons végétaux et d'huile d'animaux. Cependant la présence de lanoline est autorisée et les huiles végétales parfaitement neutres sont tolérées.

Stipulations et essais relatifs au lubrifiant.

Le lubrifiant répondra aux conditions ci-après :

1° La teneur en acidité soluble dans l'eau doit être nulle;

2° La teneur en acidité soluble dans l'alcool, exprimée en SO^4H^2, sera inférieure à 0,1 % ;

3° La teneur en cendres ou matières fixes à l'incinération sera inférieure à 0,1 % ;

4° L'action du soufre et des composés sulfureux et autres sur lame d'argent polie, plongée pendant cinquante heures dans la graisse portée à 120° C. sera rigoureusement nulle;

5° Le lubrifiant sera soumis à l'essai de corrosion.

Un échantillon d'acier doux (contenant de 0,1 à 0,07 % de carbone), poli suivant les règles admises en technique métallographique, exposé pendant cinquante heures à l'action de la graisse chauffée à 120° C., ne peut présenter aucune trace de corrosion.

Le lavage des éprouvettes aura lieu comme suit : la graisse encore chaude sera éliminée le plus complètement possible; on lavera les pièces métalliques une première fois à l'essence d'auto, puis au benzol et au tétrachlorure de carbone chimiquement pur, exempt de thiophène, on les essuiera avec un chiffon doux et propre, rincera rapidement une dernière fois, au benzol, puis au tétrachlorure de carbone.

L'examen de la surface polie aura lieu immédiatement à l'aide d'un microscope à faible grossissement (50 diamètres environ).

Les lubrifiants à base de lanoline doivent subir des épreuves légèrement différentes de celles décrites ci-dessus. Elles sont spécifiées dans la notice n° 307, C.E.M.E. 28, « Graissage des câbles métalliques d'extraction en service », éditée par l'A.I.B. et mise à la disposition de ses affiliés.

Réalisation du graissage.

Le câble sera passé à une vitesse d'environ 20 centimètres par seconde dans une auge de 5 mètres de longueur au moins, contenant à une température de 70° en été, 90° en hiver, une huile répondant aux conditions énoncées ci-haut.

Lorsque ce mode de graissage est impraticable, le câble peut être plongé en entier dans une cuve remplie de lubrifiant satisfaisant aux conditions énoncées ci-dessus.

Cette immersion devra durer le temps nécessaire (au moins

six heures) pour que tous les éléments contitutifs du câble soient complètement imprégnés. Les températures mentionnées plus haut doivent être maintenues pendant six heures.

Protection spéciale.

Si le câble doit être utilisé longtemps après la lubrification, et si la protection due au graissage précité est jugée insuffisante, il y a lieu de plonger le câble dans un lubrifiant, à base de laque ou de vernis, exempt de toute trace d'acidité, d'une stabilité garantie pendant trois ans au moins.

III. — TEXTILES EMPLOYES

Les textiles employés pour la construction des âmes des câbles métalliques peuvent être divisés en deux grandes catégories :

1° Les produits européens représentés en ordre principal par les chanvres des Flandres, de Russie et d'Italie;

2° Les matières dénommées exotiques, parce que fournies par d'autres continents, dont les principales sont : le jute (Indes, Chine, Madagascar), le manille (aussi dénommé aloès ou abaca), le bombay, le sunn, le zélande, le manguey, le sisal, le coton.

De tous ces textiles, il y a lieu de retenir les chanvres d'Europe, le jute, le sisal, l'aloès, le bombay, qui sont les plus employés.

Rappelons que les âmes doivent être suffisamment résistantes et pouvoir s'imprégner de lubrifiant.

En règle générale, les fibres dures (les chanvres coloniaux, par exemple) sont très résistantes, mais, à l'état tressé, elles absorbent peu de lubrifiant. Les fibres tendres (le jute, par exemple), à ce dernier point de vue, sont plus efficaces, quoique moins résistantes.

Certains praticiens ont été jusqu'à tenter de satisfaire aux deux conditions, — résistance et imprégnation, — en constituant l'âme de deux parties : l'extérieure, en fibres tendres, et l'intérieure, en fibres dures. Nous pensons qu'il n'y a pas lieu de compliquer de la sorte la fabrication des câbles.

a) *Chanvres d'Europe.*

1° *Chanvre des Flandres.*

Le chanvre des Flandres de bonne qualité possède des fibres longues lisses, de teinte verdâtre.

Sa résistance est estimée à 13.000 fois le poids d'un mètre courant exprimé en grammes.

Ce textile résiste bien aux intempéries, s'imprègne facilement d'huile et retient le lubrifiant. Il est donc préférable à tout autre produit, mais il coûte beaucoup plus cher et la production est restreinte.

2° *Chanvre de Russie.*

Le chanvre de Russie est beaucoup utilisé pour la construction des gros cordages employés pour l'industrie du bâtiment.

Il présente l'avantage de ne pas nécessiter d'huile d'ensimage pour son travail. Les fibres sont longues, lisses et de teinte gris clair, avec reflet verdâtre.

Au point de vue de la résistance, de l'imprégnation et de la rétention de l'huile il possède les mêmes qualités que le chanvre des Flandres.

3° *Chanvre d'Italie.*

Le chanvre d'Italie est utilisé pour la construction des cordages de petites dimensions employés par l'industrie du bâtiment. Il est d'un bel aspect blanc et possède la résistance et les autres qualités des chanvres des Flandres et de Russie.

b) *Textiles exotiques.*

1° *Le jute.*

Le jute possède des fibres plus courtes que les textiles précités. Sa charge de rupture vaut 5.000 fois son poids métrique. Si la densité est suffisante, il peut constituer des âmes excellentes car il s'imprègne aisément et retient bien le lubrifiant. Avec une construction soignée, la charge de rupture

peut atteindre 800 Kgs par cm²; faute de soins, cette dernière peut descendre à 450 Kgs.

Il est recommandable de n'employer que le jute pour les câbles de levage et de ne pas l'utiliser pour les câbles dont les torons exercent ou subissent de fortes pressions latérales (cas des câbles tracteurs). Bien graissées, les âmes en jute résistent aux alternances de sécheresse et d'humidité, au même titre que les autres textiles.

2° *Le sisal.*

Le sisal possède des fibres blanches, plus courtes et plus larges que celles du chanvre des Flandres.

Il s'imprègne moins bien que les textiles cités et constitue donc un réservoir de lubrifiant moins efficace. De plus, sa résistance aux pressions latérales est moindre.

3° *L'aloès.*

Les fibres d'aloès sont longues (1,5 m. à 2 m.), lisses, de couleur blanchâtre. Rugueuses courtes et de teinte brunâtre, elles dénotent un textile de qualité inférieure.

La résistance est estimée de 13.000 à 15.000 fois le poids métrique. L'aloès résiste très bien aux pressions latérales et aux effets de la sécheresse et de l'humidité. Il présente le désavantage de s'imprégner très difficilement. Conséquemment, si l'aloès constitue un excellent support pour les torons, il ne convient pas comme réservoir de lubrifiant. Il est plus raide que les chanvres.

4° *Le bombay.*

Les chanvres de bombay ont un aspect doré. Les fibres sont lisses mais plus courtes que celles des chanvres européens et de l'aloès.

Sa charge de rupture vaut 7.000 fois son poids métrique et il résiste moins bien que l'aloès aux pressions latérales.

Le pouvoir absorbant est moindre que celui des chanvres européens et du jute.

Conclusion.

De cet examen rapide, nous concluons que les meilleurs textiles pour les âmes des câbles métalliques sont, en ordre principal, les chanvres d'Europe, puis le jute. Cette dernière substance doit être bien tressée, suffisamment dense et graissée à refus.

IV. — CONSTRUCTION DES AMES

a) *Diamètre des âmes.*

Les âmes doivent avoir un diamètre suffisant pour remplir les interstices laissés libres par les fils et pour que les torons du câble sortant de fabrication ne soient pas immédiatement jointifs.

Cette façon de faire présente deux avantages :

1° L'âme constitue alors une matière plastique dans laquelle les torons se créent l'empreinte qui leur convient.

En d'autres termes, l'âme peut alors jouer complètement son rôle de support.

2° Les fibres prises entre les torons peuvent baigner dans l'huile de graissage du câble.

Le lubrifiant peut donc pénétrer, par capillarité, jusqu'au cœur du textile, d'où les pressions latérales l'expulsent ensuite. Conséquemment, les parties de fils au contact de l'âme sont constamment graissées.

b) *Constitution des âmes.*

1° *Câbles de levage.*

Pour les câbles de levage, les fibres sont réunies pour constituer les fils de caret et ceux-ci sont tressés pour composer un toron. L'âme sera constituée de 3 torons tordus en une aussière.

2° *Câbles tracteurs.*

Pour les câbles tracteurs, où les pressions latérales sont plus fortes que dans le cas des câbles de levage, il est désirable de tresser 3 torons de façon à former une aussière fortement serrée.

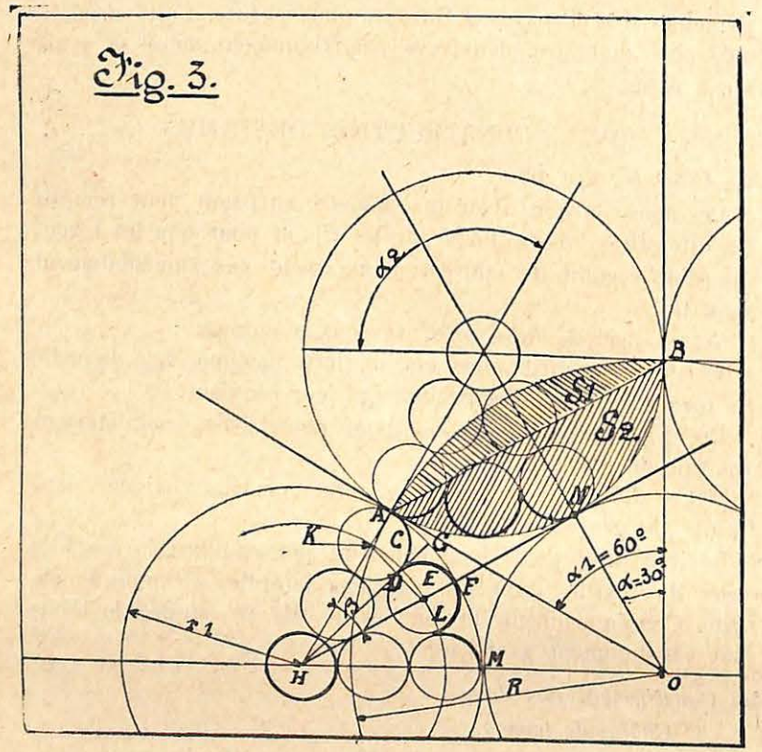
c) *Calcul des âmes.*

A. — *Câbles de construction ordinaire :*

6 torons constitués de fils de même diamètre.

Soit fig. 3, une coupe schématique faite par un plan perpendiculaire à l'axe d'un câble constitué de 6 torons.

Fig. 3.



Traçons la circonférence de rayon R, passant par les points de tangence des torons (circonférence de rayon r_1) et joignons les points A et B. La surface occupée par l'âme est égale à l'aire S du cercle de rayon R, diminuée de 6 fois la somme des segments hachurés S_1 et S_2 et augmentée des surfaces telles que A C D E F G A qui sont au nombre de 12 n, n étant le nombre de couches de fils.

La trigonométrie permet de déterminer R en fonction de r_1, rayon d'un toron, soit : $R = 1{,}73\ r_1$.

La surface S du cercle de rayon R vaut :

$$3{,}14 \times 1{,}73^2 \times r_1^2 = 9{,}40\ r_1^2.$$

La surface S_1 est exprimée par

$$\left(\frac{\pi\alpha_1}{180^\circ} - \sin\alpha_1\right)\frac{R^2}{2} = 0{,}181\,\frac{R^2}{2} = 0{,}272\ r_1^2.$$

La surface S_2 vaut

$$\left(\frac{\pi\alpha_2}{180^\circ} - \sin\alpha_2\right)\frac{r_1^2}{2} = 0{,}614\ r_1^2.$$

Dès lors, $S_1 + S_2 = 0{,}886\ r_1^2$.

La surface étoilée limitée par les arcs tels que AM et AN, est égale à

$$9{,}40\ r_1^2 - 6 \times 0{,}886\ r_1^2 = 4{,}084\ r_1^2 \text{ ou}$$

$$4{,}084\left(\frac{2n+1}{2}\right)^2 d^2 \text{ ou } 1{,}021\ (2n+1)^2\ d^2 = a,$$

si nous représentons par d, le diamètre du fil.

L'aire A C D E F G A est égale au secteur A H F diminué du triangle K H L et des secteurs A K D et D L F (ces deux derniers sont égaux).

La surface du secteur A H F est exprimée par la formule :

$$\frac{\pi\beta}{180^\circ} \times \frac{r_1^2}{2} = \frac{3{,}14}{180^\circ} \times \frac{360^\circ}{6n} \times \left(\frac{(2n+1)^2}{2}\right) \times \frac{d^2}{2} \text{ ou}$$

$$\frac{0{,}131}{n} \times (2n+1)^2 \times d^2 = b.$$

Le triangle K H L a pour surface :

$$\frac{n^2 d^2}{2}\sin\beta = \frac{n^2 d^2}{2}\sin\frac{360^\circ}{6n} = \frac{n^2 d^2}{2}\sin\frac{60^\circ}{n} = c.$$

L'angle A K D vaut K H D + 90° ou $\frac{360^\circ}{12n}$ + 90° ou

$$\frac{30^\circ}{n} + 90^\circ$$

L'aire du secteur A K D vaut donc :

$$\frac{3{,}14}{180^\circ} \times \left(\frac{30^\circ}{n} + 90^\circ\right) \times \frac{d^2}{8} = 0{,}00218 \left(\frac{30^\circ}{n} + 90^\circ\right) d^2 = e.$$

La surface A C D E F G A est donc :

$$b - c - 2e = f.$$

La surface de l'âme étoilée vaut :

$$a + 12\, n\, f = g\, d^2.$$

La densité du textile non tressé est de 1,5 gr. par cm³, à l'état sec et comprimé.

Pour l'âme confectionnée, il faut arriver à 1,2 gr. pour que la quantité métrique de matière textile soit suffisante, dans le cas des câbles de levage. Pour les câbles tracteurs de transport aérien et les câbles de traînage, la densité doit être égale à 1,35. Tous les poids métriques donnés dans cette étude devront donc être multipliés par $\frac{1{,}35}{1{,}20}$ pour les câbles tracteurs.

Poids q d'un mètre d'âme non lubrifiée :

$$q = 100 \times 1{,}2 \left\{ 1{,}021\ (2n+1)^2 + 12\, n \left[\frac{0{,}131}{n} (2n+1)^2 - \frac{n^2}{2} \sin \frac{60^\circ}{n} - 0{,}004 \left(\frac{30^\circ}{n} + 90^\circ\right) \right] \right\} d^2 = 120\, g\, d^2.$$

où d doit être exprimé en cm.

Si l'on assigne à n une valeur déterminée, l'équation représente une parabole du second degré dont la forme classique est

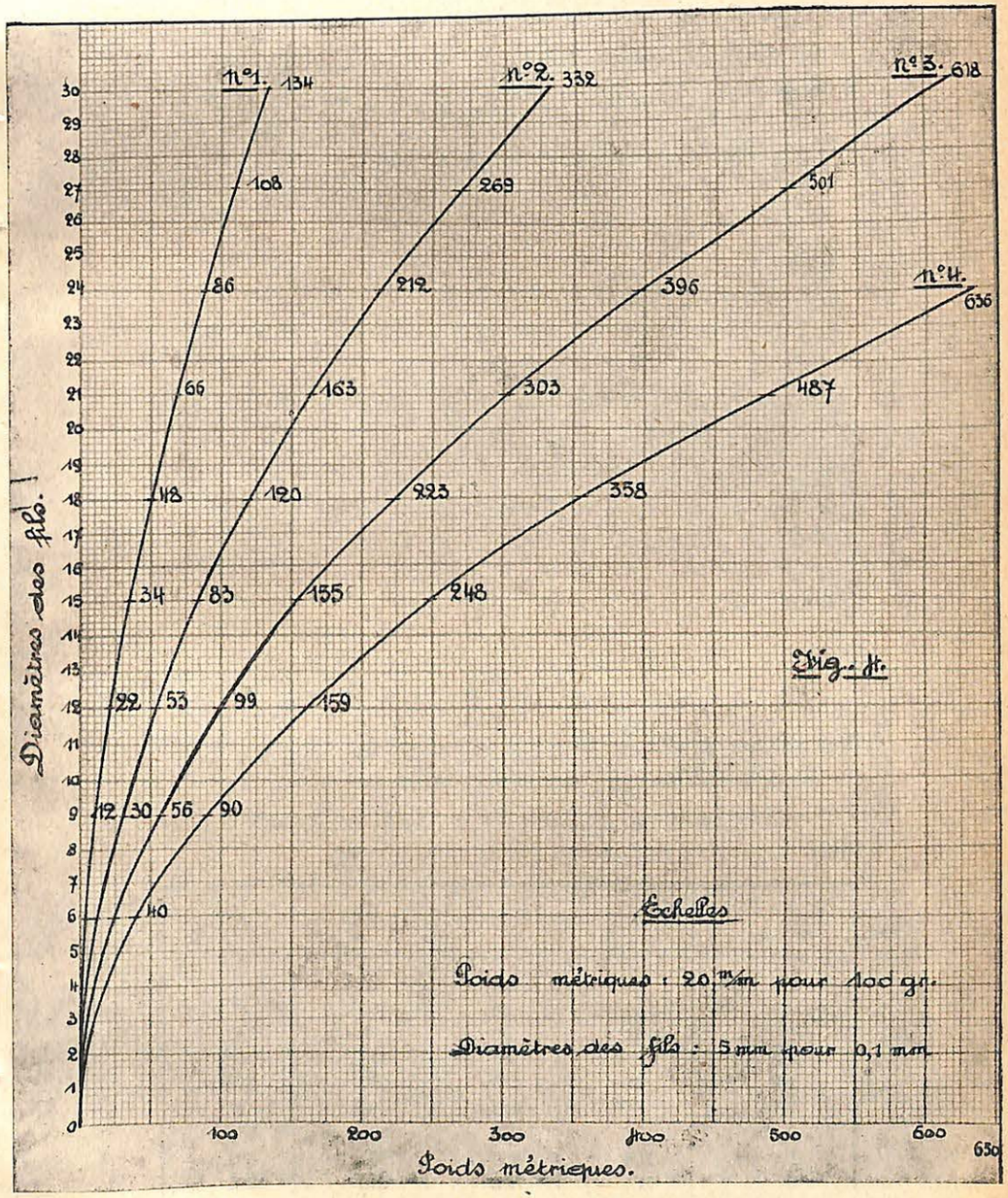
$$y^2 = 2px.$$

x représente ici le poids de l'âme, en grammes par mètre courant ;

y est le diamètre du fil, exprimé en cm. ;

p est le paramètre de la parabole, donné par la formule :

$$2p = \frac{1}{120\, g}.$$



En faisant successivement $n = 1, 2, 3, 4$, on obtient le poids des âmes des câbles composés de 6 torons de 7, 19, 37, 61 fils ($2p$ vaut respectivement $\frac{1}{1486}$, $\frac{1}{3689}$, $\frac{1}{6867}$, $\frac{1}{11030}$).

Dès lors, l'on peut tracer les diagrammes de la figure 4.

Les diagrammes des fils sont portés, en ordonnées, à l'échelle de 500 mm. pour un diamètre de 10 mm.

Les poids métriques se trouvent en abcisses, à l'échelle de 0,2 mm. par gramme.

On obtient ainsi les courbes :

n° 1 pour les câbles en 6 torons de 7 fils ;
n° 2 » » » » 6 » » 19 » ;
n° 3 » » » » 6 » » 37 » ;
n° 4 » » » » 6 » » 61 » .

TABLEAU I

donnant en grammes, le poids métrique de l'âme en textile de quelques câbles de construction ordinaire.

(Nombres obtenus par calcul, arrondis au gramme supérieur.)

ϕ des fils en mm.	6 × 7	6 × 19	6 × 37	6 × 61
0,6	6	14	25	40
0,9	12	30	56	90
1,2	22	53	99	159
1,5	34	83	155	248
1,8	48	120	223	358
2,1	66	163	303	487
2,4	86	212	396	636
2,7	108	269	501	804
3	134	332	618	993

Remarque : Cette méthode donne un calcul suffisamment approché que pour être admis en pratique. Si l'on fait une section perpendiculaire à l'axe des câbles, les fils n'apparaissent pas suivant des cercles : ce sont des surfaces elliptiques. Cependant, l'aire des divers fils et des torons diffère tellement peu de celle des cercles, que le calcul donne des nombres pratiquement satisfaisants.

D'autre part, l'on verra que, sur la figure 3, les fils extérieurs du toron à deux couches de fils sont exactement tangents et qu'il existe un vide, en certains endroits, entre les deux couches de fils.

Il peut donc en résulter que les fils extérieurs se rapprochent plus du centre du toron que nous ne l'avons indiqué sur la figure, ce qui augmente la surface occupée par l'âme. La densité choisie est suffisamment forte pour tenir compte de ce supplément de textile.

Logarithmes.

On peut simplifier les diagrammes de la figure 2 en passant par les logarithmes.

Les équations des paraboles deviennent :

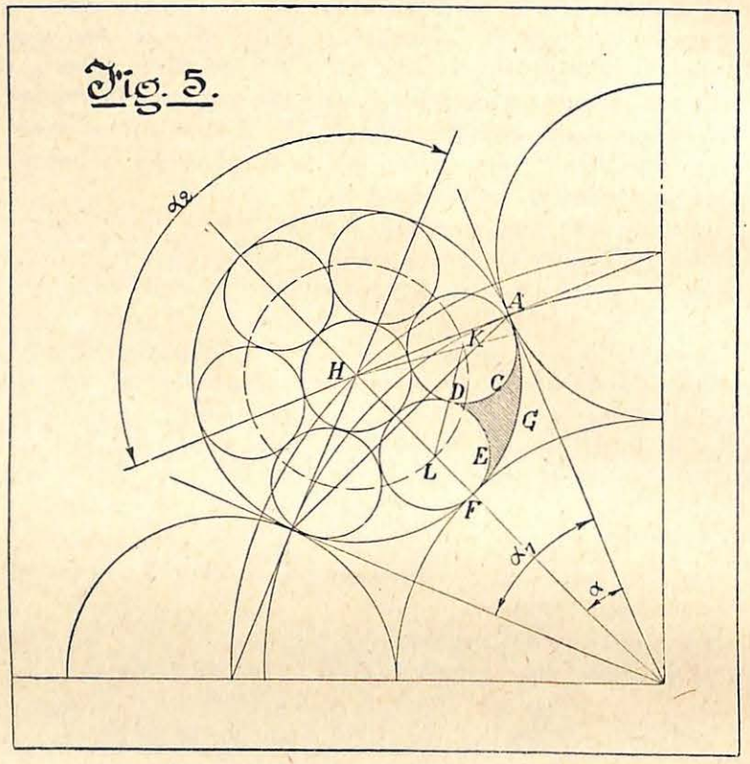
1) pour les câbles composés de 6 torons de 7 fils :
$$\log x = 2 \log y + \log 1486 ;$$
2) pour les câbles composés de 6 torons de 19 fils :
$$\log x = 2 \log y + \log 3689 ;$$
3) pour les câbles composés de 6 torons de 37 fils :
$$\log x = 2 \log y + \log 6867 ;$$
4) pour les câbles composés de 6 torons de 61 fils :
$$\log x = 2 \log y + \log 11.030.$$

Les droites correspondantes sont parallèles et distantes de la valeur du terme $2 \log \frac{2n+1}{2}$. L'inconvénient est que les lectures se font en logarithmes.

B. — *Câbles à 8 torons composés de 6 × 7, 6 × 19, 6 × 37, 6 × 61 fils.*

La surface occupée par l'âme est égale à l'aire S du cercle de rayon R (figure 5), diminuée de 8 fois la somme des seg-

Fig. 5.



ments hachés S_1 et S_2 et augmentée des surfaces telles que A C D E F G A, qui sont au nombre de 16 n, n étant le nombre de couches de fils.

Le rayon R, en fonction de celui du toron est donné par la formule :

$$R = \frac{r_1}{\text{tg } 22°30'} = \frac{r_1}{0{,}414} = \frac{(2n+1)r}{0{,}414}.$$

$$R = 2{,}41\ (2n+1)r.$$

La surface S du cercle de rayon R vaut :

$$3{,}14 \times 2{,}41^2\ (2n+1)^2r^2 = 18{,}24\ (2n+1)^2r^2.$$

La surface S_1 est exprimée par :

$$\left(\frac{\pi \times 45°}{180°} - \sin 45°\right) \frac{R^2}{2} = 0{,}266\ (2n+1)^2\ r^2.$$

La surface S_2 vaut :

$$\left(\frac{\pi \times 135°}{180°} - \sin 135°\right) \frac{r_1^2}{2} = 0{,}824\ (2n+1)^2r^2.$$

Dès lors :

$$S_1 + S_2 = 1\,09\ (2n+1)^2r^2$$

La surface étoilée de l'âme, limitée par les aires A M N, est donc égale à :

$18{,}24\ (2n+1)^2r^2 - 8 \times 1{,}09\ (2n+1)r^2 = 9{,}52\ (2n+1)^2r^2$, ou

$$2{,}38\ (2n+1)^2d^2 = h.$$

L'aire A C D E F G A a été calculée précédemment (voir f).

La surface étoilée de l'âme vaut :

$$h + 16n\ f = j\ d^2.$$

Poids d'un mètre d'âme non lubrifié :

$$q = 100 \times 1{,}2 \left\{ 2{,}38\ (2n+1)^2d^2 + 16n \left[\frac{0{,}131}{n}\ (2n+1)^2d^2 - \frac{n^2\ d^2}{2} \sin \frac{60°}{n} - 0{,}004 \left(\frac{30°}{n} + 90° \right) d^2 \right] \right\} = 120\ j\ d^2.$$

On peut donc en conclure le tableau II.

ϕ des fils en mm.	8 × 7 gr.	8 × 19 gr.	8 × 37 gr.	8 × 61 gr.
0,6	11	29	55	88
0,9	25	65	123	199
1,2	44	115	218	354
1,5	69	180	341	553
1,8	100	259	491	796
2,1	136	352	668	1084
2,4	177	460	872	1416
2,7	225	582	1104	1792
3	277	719	1363	2212

Comme précédemment, on peut dire que l'équation représente une parabole du second degré dont la forme classique est :

$$y^2 = 2\,px.$$

x représente ici le poids de l'âme, en grammes par mètre courant;

y est le diamètre du fil, exprimé en cm.;

p est le paramètre de la parabole, donné par la formule :

$$2p = \frac{1}{120\,j}.$$

En faisant successivement $n = 1, 2, 3, 4$, on obtient le poids des âmes des câbles composés de 8 torons de 7, 19, 37, 61 fils ($2p$ vaut respectivement $\frac{1}{3080}$, $\frac{1}{7985}$, $\frac{1}{15146}$, $\frac{1}{24577}$).

La figure 6 donne les paraboles correspondantes.

C. — *Câbles de composition Seal à six torons.*

Les câbles Seal sont composés de torons constitués généralement de 7, 9 ou 10 fils par couche.

La figure 7 représente une coupe perpendiculaire à l'axe du toron.

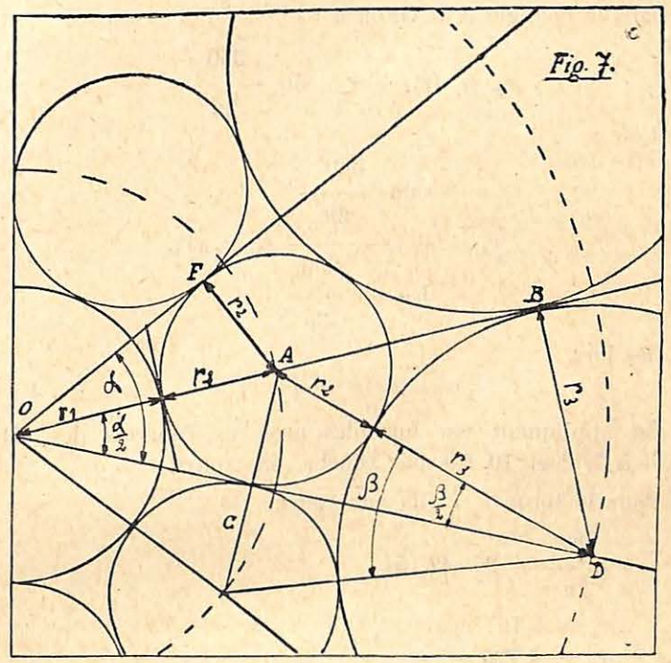
Le nombre de fils d'une couche est désigné par n.

Dès lors, l'angle α vaut $\frac{360^\circ}{2n}$.

Dans le triangle A B D, on a :

$$r_3 = (r_2 + r_3)\ \sin \text{B A D} = (r_2 + r_3)\ \sin\ (\text{A O C} + \text{A D C}).$$

$$r_3 = (r_2 + r_3)\ \sin\left(\frac{\pi}{2n} + \frac{\beta}{2}\right) = (r_2 + r_3)\ \left(\sin\frac{360^\circ}{2n}\cos\frac{\beta}{2} + \sin\frac{\beta}{2}\cos\frac{360^\circ}{2n}\right).$$



Dans le triangle A C D, on a :

$$\sin\frac{\beta}{2} = \frac{r_2}{r_2 + r_3} \text{ et } \cos\frac{\beta}{2} = \sqrt{1 - \frac{r_2^2}{(r_2 + r_3)^2}}.$$

Portant ces valeurs dans l'expression de r_3 et résolvant l'équation par rapport à r_3, on arrive à :

$$r_3 = \frac{r_2}{\cos^2\frac{360^\circ}{2n}}\left(\sin^2\frac{360^\circ}{2n} + \cos\frac{360^\circ}{2n} + \sin\frac{360^\circ}{2n}\sqrt{1 + 2\cos\frac{360^\circ}{2n}}\right) = r_2.i.$$

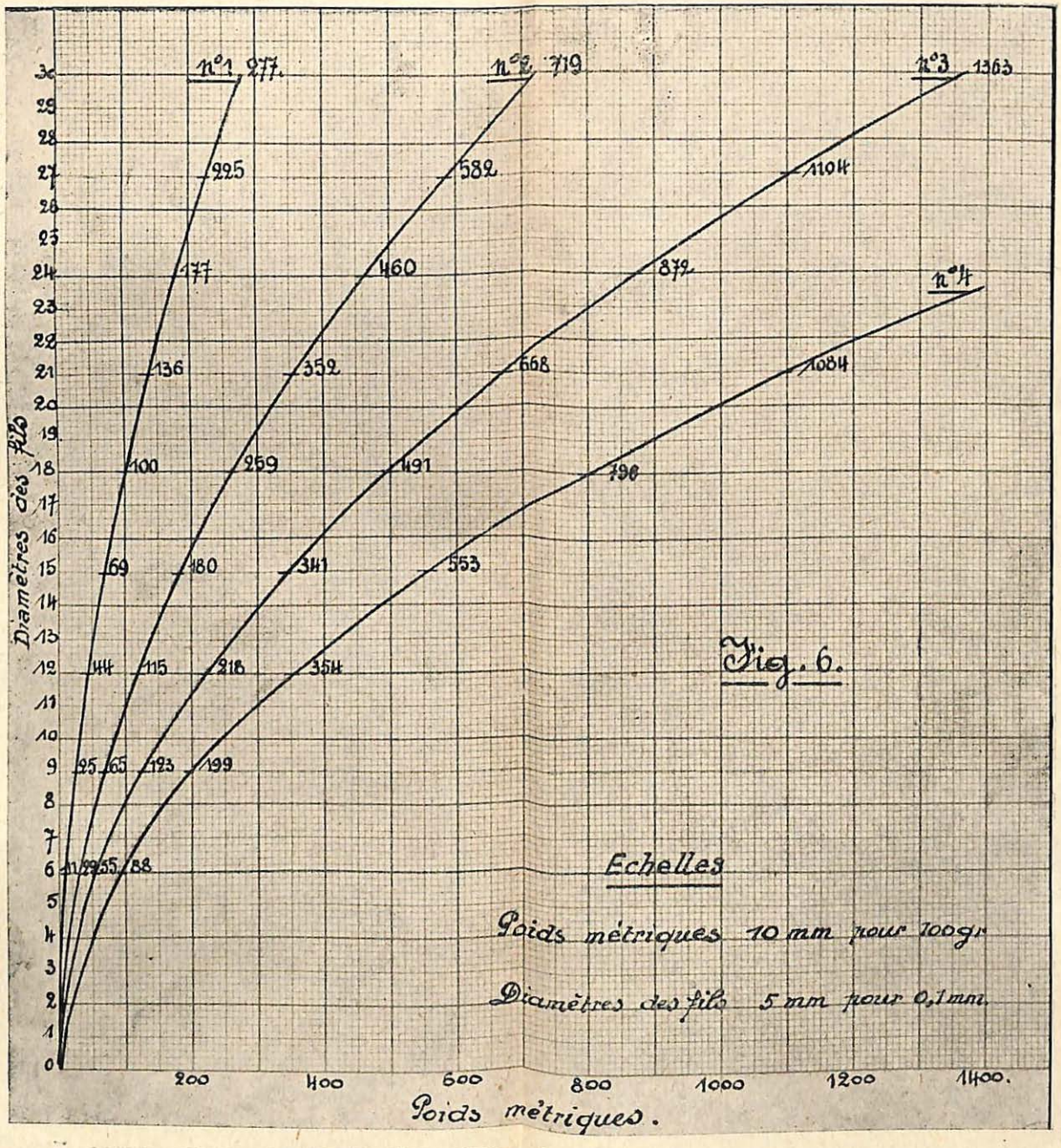

n°1 277.
n°2 719
n°3 1363
n°4
225
582
1104
177
460
872
136
352
668
1084
100
259
491
796
69
180
341
553
44
115
218
354
25
65
123
199
11
29
55
88
Diamètres des fils
Poids métriques.
200
400
600
800
1000
1200
1400.
Echelles
Poids métriques 10 mm pour 100gr
Diamètres des fils 5 mm pour 0,1mm.

Fig. 6.

Dans le triangle A C O, on a :

$$r_2 = (r_1 + r_2) \sin \frac{360°}{2n}.$$

D'où :

$$r_2 = \frac{\sin \dfrac{360°}{2n}}{1 - \sin \dfrac{360°}{2n}} r_1 = s.r_1.$$

Dès lors,

$$r_3 = r_1.i\ s.$$

En appliquant ces formules aux cas concrets des câbles Seal à 7, 9 et 10 fils par couche, on trouve :

Pour le toron à 7 fils par couche :

$$\frac{360°}{2n} = 25° 42' 51''$$

$r_2 = 0.767\ r_1$
$r_3 = 1{,}725\ r_1.$

Pour le toron à 9 fils par couche :

$$\frac{360°}{2n} = 20°$$

$r_2 = 0{,}51\ r_1$
$r_3 = 0{,}94\ r_1$

Pour le toron à 10 fils par couche :

$$\frac{360°}{2n} = 18°$$

$r_2 = 0{,}447\ r_1$
$r_3 = 0{,}778\ r_1.$

Il y a lieu de faire deux remarques importantes :

1° Nous avons supposé que les sections des fils étaient circulaires, alors qu'elles sont en réalité elliptiques.

2° Nous considérons des fils ayant rigoureusement le même diamètre. Or, en pratique, il n'en est pas ainsi, et il faut admettre une tolérance. Celle adoptée par l'A.I.B. est d'ailleurs de ± 2 %.

On peut donc en conclure que les valeurs pratiques de r_2 et r_3, par rapport à r_1, ne correspondront pas au calcul.

Effectivement, en ce qui concerne les câbles Seal dont les couches de fils, dans les torons, possèdent 9 fils, on trouve que:

a) $r_2 = 0{,}466$ à $0{,}5\ r_1$
$r_2 = 0{,}8$ à $0\,888\ r_1.$

dans le catalogue d'une corderie française.

b) $r_2 = 0{,}465$ à $0{,}468\ r_1$
$r_3 = 0{,}866$ à $0{,}871\ r_1$

dans le catalogue d'une corderie belge.

Nous pensons que l'on peut choisir, en toute sécurité, les valeurs suivantes :

$r_2 = 0{,}466\ r_1$
$r_3 = 0{,}866\ r_1.$

Les rapports aux nombres calculés sont donc respectivement de 91 et 92 %.

En conséquence, nous aurons :

Pour les torons à 7 fils par couche :

$r_2 = 0{,}7\ r_1$
$r_3 = 1{,}59\ r_1.$

Pour les torons à 9 fils par couche :

$r_2 = 0{,}466\ r_1$
$r_3 = 0{,}866\ r_1.$

Pour les torons à 10 fils par couche :

$r_2 = 0{,}407\ r_1$
$r_3 = 0{,}716\ r_1.$

Le terrain se trouve ainsi déblayé pour aborder le calcul des âmes des câbles Seal.

1. *Câbles en torons dont chaque couche possède 7 fils.*

Le diamètre du toron vaut (fig. 7) :

$$d = 2\,[O\,D + r_3]$$

$$d = 2\,[\frac{r_3}{\sin 25°\,42'\,51''} + r_3] =$$

$$d = 1{,}59 \times 6{,}6\ r_1 = 10{,}5\ r_1 \sim, \text{ ou } 5{,}25\ d_1,$$

d_1, étant le diamètre du fil central.

Reprenant la construction analogue à la figure 3, nous trouvons :

$$R = 1{,}73\ \frac{d}{2} = 1{,}73 \times 5{,}25\ r_1 = 9{,}08\ r_1$$

La surface du cercle de rayon R :

$$S = 3{,}14 \times \frac{9{,}08^2}{2} \times r_1^2 = 258\,9\ r_1^2.$$

Surface de S_1 :

$$S_1 = 0{,}174 \cdot \frac{R^2}{2} = 0{,}174 \times \frac{9{,}08^2}{2} \times r_1^2 = 7{,}17\ r_1^2.$$

Surface de S_2 :

$$S_2 = 0{,}067 \times 5{,}25^2 \times r_1^2 = 16{,}73\ r_1^2$$

$$S_1 + S_2 = 23{,}90\ r_1^2$$

$$6\ (S_1 + S_2) = 143{,}40\ r_1^2.$$

Dans la figure 8, l'aire A C D E F G A est égale au secteur A H F diminué du triangle K H L et des secteurs A K D et D L F (ces deux derniers sont égaux).

La surface du secteur A H F vaut :

$$\frac{\pi\beta}{180°} \times \frac{r_1^2}{2} = 3{,}14 \times \frac{360°}{180° \times 7} \times \frac{5{,}25^2 \times r_1^2}{2} = 12{,}36\ r_1^2.$$

Le triangle K H L a pour surface :

$$2\ r_3 \times \frac{H\,D}{2}$$

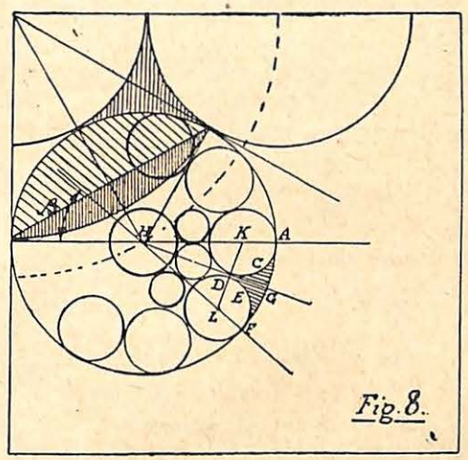


Fig. 8.

Or, $\text{tg}\ \frac{\beta}{2} = \frac{D_2}{H\,D} = \frac{r_3}{H\,D}$

$$H\,D = \frac{r_3}{\text{tg}\ 25°\ 42'\ 51''}$$

$$H\,D = \frac{1{,}59\ r_1}{0.4815}$$

$$H\,D = 3{,}3\ r_1$$

Le triangle K H L a donc pour surface :

$$5{,}25\ r_1^2$$

Aire du secteur A K D :

L'angle A K D vaut :

$$25°\ 42'\ 51'' + 90° = 115°\ 42'\ 51''$$

L'aire du secteur A K D vaut :

$$\frac{3{,}14}{180°} \times 115°\ 42'\ 51'' \times \frac{d_3^2}{8} = \frac{3{,}14}{180°}\ (115°\ 42'\ 51'')$$

$$\times\ 1{,}59^2\ \frac{d_1^2}{8} \text{ ou } 0{,}637\ d_1^2.$$

La surface A C D E F G A est donc égale à :

$$12\,36\,\frac{d_1^2}{4} - 13{,}76\,d_1^2 - 5{,}25\,\frac{d_1^2}{4} = 0{,}4\,d_1^2 \sim.$$

Le nombre de surfaces telles que A C D E F G A est de

$$\frac{7}{6} \times 6 \times 2 = 14.$$

La surface étoilée de l'âme vaut donc :

$$S + 14 \times 0{,}4\,d_1^2 - 6\,(S_1 + S_2)$$

$$258{,}9\,\frac{d_1^2}{4} + 14 \times 0{,}4 \times d_1^2 - 143{,}4\,\frac{d_1^2}{4} = 34{,}5\,d_1^2.$$

Poids métrique de l'âme en grammes :

$$34{,}5 \times 100 \times 1{,}2\,d_1^2 = 4140\,d_1^2.$$

d_1 est exprimé en cm.

2. *Câbles en torons dont chaque couche possède 9 fils.*

D'après les considérations données précédemment,

$r_3 = 0{,}866\,r_1$.

Rayon du toron :

$r = 3{,}39\,r_1$.

Diamètre du toron :

$d = 3{,}39\,d_1$.

$R = 1{,}73 \times 3\,39\,r_1 = 5{,}86\,r_1$.

Surface du cercle de rayon R :

$S = 107{,}83\,r_1^2$.

Surface de S_1 :

$$0{,}174\,\frac{R^2}{2} = 0{,}174\,\frac{5{,}86^2}{2}\,r_1^2 = 2{,}99\,r_1^2.$$

Surface de S_2 :

$$0{,}607 \times 3{,}39^2\,r_1^2 = 6{,}97\,r_1^2.$$

$$S_1 + S_2 = 9\,96\,r_1^2.$$

La surface du secteur A H F vaut :

$$\frac{\pi\beta}{180^\circ} \times \frac{r^2}{2} = 3{,}14 \times \frac{360^\circ}{180^\circ \times 9} \times \frac{3{,}39^2}{2} \times r_1^2 = 4{,}01\,r_1^2.$$

Le triangle K H L a pour surface :

$$2\,r_3 \times \frac{r_3}{2\ \mathrm{tg}\ 20^\circ} = \frac{r_3^2}{0.364} = 2{,}06\,r_1^2 = 0{,}515\,d_1^2.$$

Aire du secteur A K D :

L'angle A K D vaut :

$$20^\circ + 90^\circ = 110^\circ.$$

L'aire du secteur A K D vaut :

$$\frac{3{,}14}{180^\circ} \times 110^\circ \times \frac{d_3^2}{8} = 0{,}24\,d_3^2 = 0{,}18\,d_1^2.$$

La surface A C D E F G A est donc égale à

$$d_1^2 - 0{,}515\,d_1^2 - 0{,}36\,d_1^2 = 0{,}125\,d_1^2.$$

Le nombre de surfaces telles que A C D E F G A est de 18.

La surface étoilée de l'âme vaut donc :

$$S + 18 \times 0{,}125\,d_1^2 - 6\,(S_1 + S_2) = 14{,}26\,d_1^2.$$

Poids métrique de l'âme en grammes :

$$14{,}26 \times 100 \times 1{,}2\,d_1^2 = 1711\,d_1^2$$

d_1 est exprimé en cm.

3. *Câbles en torons dont chaque couche possède 10 fils.*

Nous avons admis :

$r_2 = 0{,}407\,r_1$

$r^3 = 0{,}716\,r_1$

Rayon du toron :

$r = 3{,}026\,r_1$

Diamètre du toron :

$$d = 2\,[\frac{r_3}{\sin 180^\circ} \times r_3] = 6{,}052\,r_1 \text{ ou } 3{,}026\,d_1.$$

$R = 1{,}73 \times 3{,}026 \times r_1 = 5{,}23\,r_1$

Surface du cercle de rayon R :

$$S = 3{,}14 \times 5{,}23^2 \times r_1^2 - 85{,}88\ r_1^2 - 21.47\ d_1^2.$$

Surface de S_1 :

$$S_1 = 0{,}174\ \frac{5{,}23^2\ r_1^2}{2} = 2{,}73\ r_1^2.$$

Surface de S_2 :

$$S_2 = 0{,}607 \times 3{,}026^2 = r_1^2 = 6\,37\ r_1^2$$

$$S_1 + S_2 = 9{,}1\ r_1^2 = 2{,}28\ d_1^2.$$

La surface du secteur A H F vaut :

$$\frac{\pi\beta}{180^\circ} \times \frac{r^2}{2} = 3{,}14 \times \frac{360^\circ}{180^\circ \times 10} \times 3{,}026\ \frac{r_1^2}{2} = 2{,}875\ r_1^2$$

$$= 0{,}718\ d_1^2$$

Le triangle K H L a pour surface :

$$2\ r_3 \times \frac{r_3}{2\ \mathrm{tg}\ 18^\circ} = \frac{r_3^2}{0{,}325} = 1{,}58\ r_1^2 = 0{,}394\ d_1^2$$

Aire du secteur A K D :

L'angle A K D vaut 18° + 90° = 108°.

L'aire du secteur A K D vaut :

$$\frac{3{,}14}{180^\circ} \times 108^\circ \times \frac{d_3^2}{8} = 0{,}235\ d_3^2 = 0{,}121\ d_1^2$$

La surface A C D E F G A est donc égale à :

$$0{,}718\ d_1^2 - 0{,}242\ d_1^2 - 0{,}394\ d_1^2 = 0{,}082\ d_1^2$$

Le nombre de surfaces telles que A C D E F G A est de 20.

La surface de l'âme étoilée vaut donc :

$$S + 20 \times 0{,}082\ d_1^2 - 6\ (S_1 + S_2) = 11{,}20\ d_1^2$$

Poids métrique de l'âme en grammes :

$$11{,}20 \times 100 \times 1{,}2 \times d_1^2 = 1344\ d_1^2$$

4. *Tableau.*

Il est dès lors aisé de calculer le poids des âmes et d'établir les nombres du tableau III, pour les câbles Seal à 6 torons et 7, 9 et 10 fils par couche.

TABLEAU III

donnant le diamètre des fils et le poids métrique de l'âme de quelques câbles Seal à 6 torons.

d_1	d_2			d_2			Poids métrique des âmes en grammes		
	6×7	6×9	6×10	6×7	6×9	6×10	6×7	6×9	6×10
1	0,70	0,47	0,41	1,59	0,87	0,72	41	17	14
1,2	0,84	0,52	0,49	1,91	1,04	0,86	60	25	19
1,4	0,98	0,65	0,57	2,23	1,21	1,00	81	34	26
1,6	1,12	0,75	0,65	2,54	1,38	1,15	105	44	34
1,8	1,26	0,84	0,73	2,86	1,56	1,29	134	55	44
2	1,40	0,93	0,81	3,18	1,73	1,43	166	68	54
2,4	1,68	1,12	0,98	3,82	2,08	1,72	239	99	77
2,8	1,96	1,30	1,14	4,45	2,42	2,00	325	134	105
3	2,10	1,40	1,22	4,77	2,60	2,15	373	154	121
3,2	2,24	1,49	1,30	5,09	2,77	2,29	424	175	138

5. *Courbes.*

Comme précédemment des courbes peuvent être tracées.

Reprenons les trois équations donnant le poids métrique q des âmes :

$$q = 4140\ d_1^2$$

$$q = 1711\ d_1^2$$

$$q = 1344\ d_1^2.$$

Nous voyons que ces équations représentent des paraboles du second degré de forme $y^2 = 2\ p\ x$.

où $2\ p = \frac{1}{4140}, \frac{1}{1711}, \frac{1}{1344}$.

Il est donc aisé de tracer ces courbes (fig. 9).

D. — *Câbles Seal à 8 torons.*

1. *Câbles en torons dont chaque couche possède 7 fils.*

Comme précédemment, nous pouvons écrire que :

$$d = 5{,}25\ d_1$$

où d représente le diamètre du toron et d_1 celui du fil central.

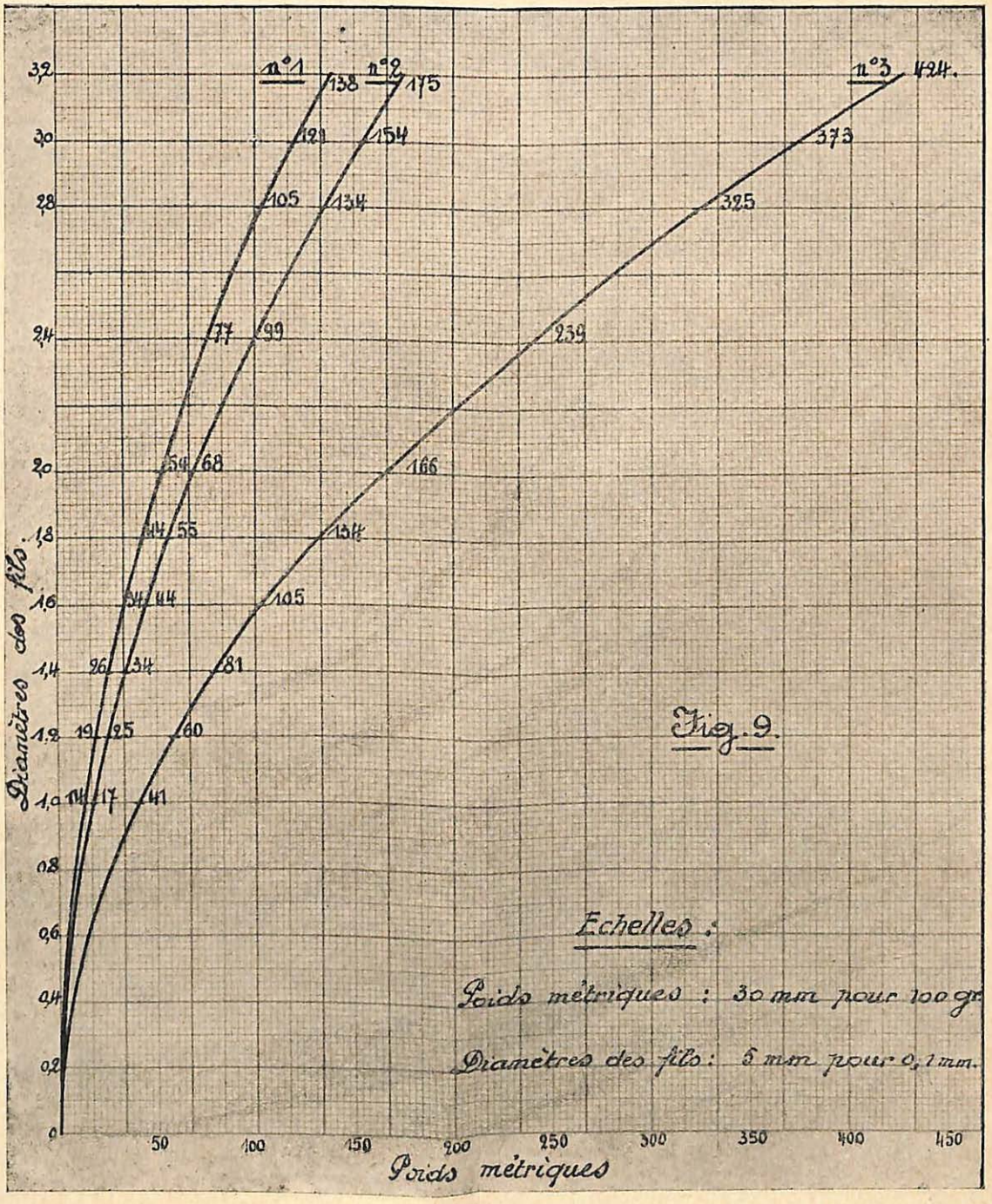


Fig. 9.

Echelles :

Poids métriques : 30 mm pour 100 gr.

Diamètres des fils : 5 mm pour 0,1 mm.

Reprenons la construction analogue à la figure 5 :

$$R = \frac{r}{tg\alpha} = \frac{5,25\ r_1}{tg\ 22°\ 30'} = \frac{5,25\ r_1}{0,414} = 12,68\ r_1$$

r étant le rayon du toron.

La surface S du cercle de rayon R vaut :

$$3,14 \times 12,68^2 \times r_1^2 = 504,9\ r_1^2$$

La surface S_1 est exprimée par :

$$\left(\frac{\pi \times 45°}{180°} - \sin 45°\right) R^2 = 12,54\ r_1^2$$

La surface S_2 vaut :

$$\left(\frac{\pi \times 135°}{180°} - \sin 135°\right) \frac{r^2}{2} = 22,66\ r_1^2$$

Dès lors,

$$S_1 + S_2 = 35,2\ r_1^2$$

Nous reportant à la figure 8, la surface A C D E F G A est égale à $0,4\ d_1^2 \sim$.

Le nombre de ces aires est de $\frac{7}{8} \times 8 \times 2 = 14$.

La surface étoilée de l'âme vaut donc :

$$504,9 \frac{d_1^2}{4} + 14 \times 0,4\ d_1^2 - 8 \times 35,2 \frac{d_1^2}{4} = 61\,42\ d_1^2$$

Poids métrique de l'âme en grammes :

$$61,42 \times 100 \times 1,2\ d_1^2 = 7370\ d_1^2$$

2. *Câbles en torons dont chaque couche possède 9 fils.*

Nous pourrons écrire, d'après ce qui précède :

$$r_3 = 0,866\ r_1$$

Rayon du toron :

$$r = 3,39\ r_1$$

Diamètre du toron :

$$d = 3,39\ d_1$$

$$R = \frac{r}{0,414} = \frac{3,39}{0,414} r_1 = 8,18\ r_1$$

Surface du cercle de rayon R :

$$S = 3,14 \times 8,18^2 \times r_1^2 = 210,1\ r_1^2.$$

La surface est exprimée par :

$$\left(\frac{\pi \times 45°}{180°} - \sin 45°\right) R^2 = (0,785 - 0,707) \times 8,18^2 \times r_1^2$$

$$= 5,22\ r_1^2 \sim$$

La surface S_2 vaut :

$$\left(\frac{\pi \times 135}{180°} \sin 135°\right) \frac{r^2}{2} = \frac{(2,35 - 0,707)\ 3,39^2\ r_1^2}{2} = 9,47\ r_1^2 \sim$$

Dès lors :

$$S_1 + S_2 = 14,69\ r_1^2$$

Nous reportant à la figure 8, la surface A C D E F G A est égale à $0,125\ d_1^2$.

Le nombre de ces aires est de 18.

La surface étoilée de l'âme vaut donc :

$$210,1 \frac{d_1^2}{4} + 18 \times 0,125\ d_1^2 - 8 \times 14,69 \frac{d_1^2}{4} = 25,39\ d_1^2$$

Poids métrique de l'âme en grammes :

$$25,39 \times 100 \times 1,2\ d_1^2 = 3047\ d_1^2$$

d_1 est exprimé en cm.

3. *Câbles en torons dont chaque couche possède 10 fils.*

Nous rappelons que :

$$r_3 = 0,716\ r_1$$
$$r = 3,026\ r_1$$
$$d = 3,026\ d_1$$

Dans le cas présent,

$$R = \frac{3{,}026\ r_1}{0{,}414} = 7{,}3\ r_1$$

Surface du cercle de rayon R :

$$S = 3{,}14 \times 7{,}3^2 \times r_1^2 = 167{,}33\ r_1^2 \text{ ou } 41{,}83\ d_1^2$$

La surface S_1 est exprimée par :

$$\left(\frac{\pi \times 45°}{180°} - \sin 45°\right) R^2 = (0{,}785 - 0{,}707)\ 7{,}3^2\ r_1^2$$

$$= 4{,}15\ r_1^2 \text{ ou } 1{,}04\ d_1^2$$

La surface S_2 vaut :

$$\left(\frac{\pi \times 135°}{180°} - \sin 135°\right) \frac{r^2}{2} = (2{,}35 - 0{,}707)\ \frac{(3{,}026\ r_1)^2}{2}$$

$$= 7{,}54\ r_1^2 \text{ ou } 1{,}88\ d_1^2$$

Dès lors,

$$S_1 + S_2 = 2{,}92\ d_1^2$$

Nous reportant à la figure 8, la surface A C D E F G A est égale à $0{,}082\ d_1^2$.

Le nombre de ces surfaces est de 20.

La surface étoilée de l'âme vaut donc :

$$41{,}83\ d_1^2 + 20 \times 0{,}082\ d_1^2 - 8 \times 2{,}92\ d_1^2 = 20{,}11\ d_1^2$$

Poids métrique de l'âme en grammes :

$$20{,}11 \times 100 \times 1{,}2\ d_1^2 = 2413\ d_1^2.$$

4. *Tableau IV.*

Le poids métrique des âmes et les nombres du tableau IV s'obtiennent aisément pour les câbles Seal à 8 torons et 7, 9 et 10 fils par couche.

TABLEAU IV

donnant le diamètre des fils et le poids métrique de l'âme de quelques câbles Seal à 8 torons.

d_1	d_2			d_3			Poids métrique des âmes en grammes		
	8×7	8×9	8×10	8×7	8×9	8×10	8×7	8×9	8×10
1	0,70	0.47	0,41	1,59	0,87	0,72	74	30	24
1,2	0,84	0,52	0,49	1,91	1,04	0,86	106	44	35
1,4	0,98	0,65	0,57	2,23	1,21	1,00	144	60	47
1,6	1,12	0,75	0,65	2,54	1,38	1,15	189	78	62
1,8	1,26	0,84	0,73	2,86	1,56	1,29	239	99	78
2	1,40	0,93	0,81	3,18	1,73	1,43	295	122	97
2,4	1,68	1,12	0,98	3,82	2,08	1,72	425	176	139
2,8	1,96	1,30	1,14	4,45	2,42	2,00	578	239	189
3	2,10	1,40	1,22	4,77	2,60	2,15	663	274	217
3,2	2,24	1,49	1,30	5,09	2,77	2,29	755	312	247

5. *Courbes.*

Comme précédemment, des courbes peuvent être tracées.

Le poids métrique des âmes est donné par les équations :

$$q = 7370\ d_1^2$$
$$q = 3047\ d_1^2$$
$$q = 2413\ d_1^2$$

Les paraboles du second degré ont pour paramètres :

$$2p = \frac{1}{7370}, \frac{1}{3047}, \frac{1}{2413}.$$

Il est donc aisé de tracer ces courbes (fig. 10).

E. — *Câbles grelins.*

Les câbles grelins sont constitués de câbles à torons disposés en hélice autour d'une âme centrale. Ces éléments constitutifs prennent alors le nom d'aussières.

Il n'entre pas dans nos intentions d'établir les tableaux relatifs aux câbles grelins, car ces derniers sont d'un usage peu fréquent et, d'autre part, les compositions peuvent varier à l'infini. Disons, en passant, que mieux vaut se limiter aux

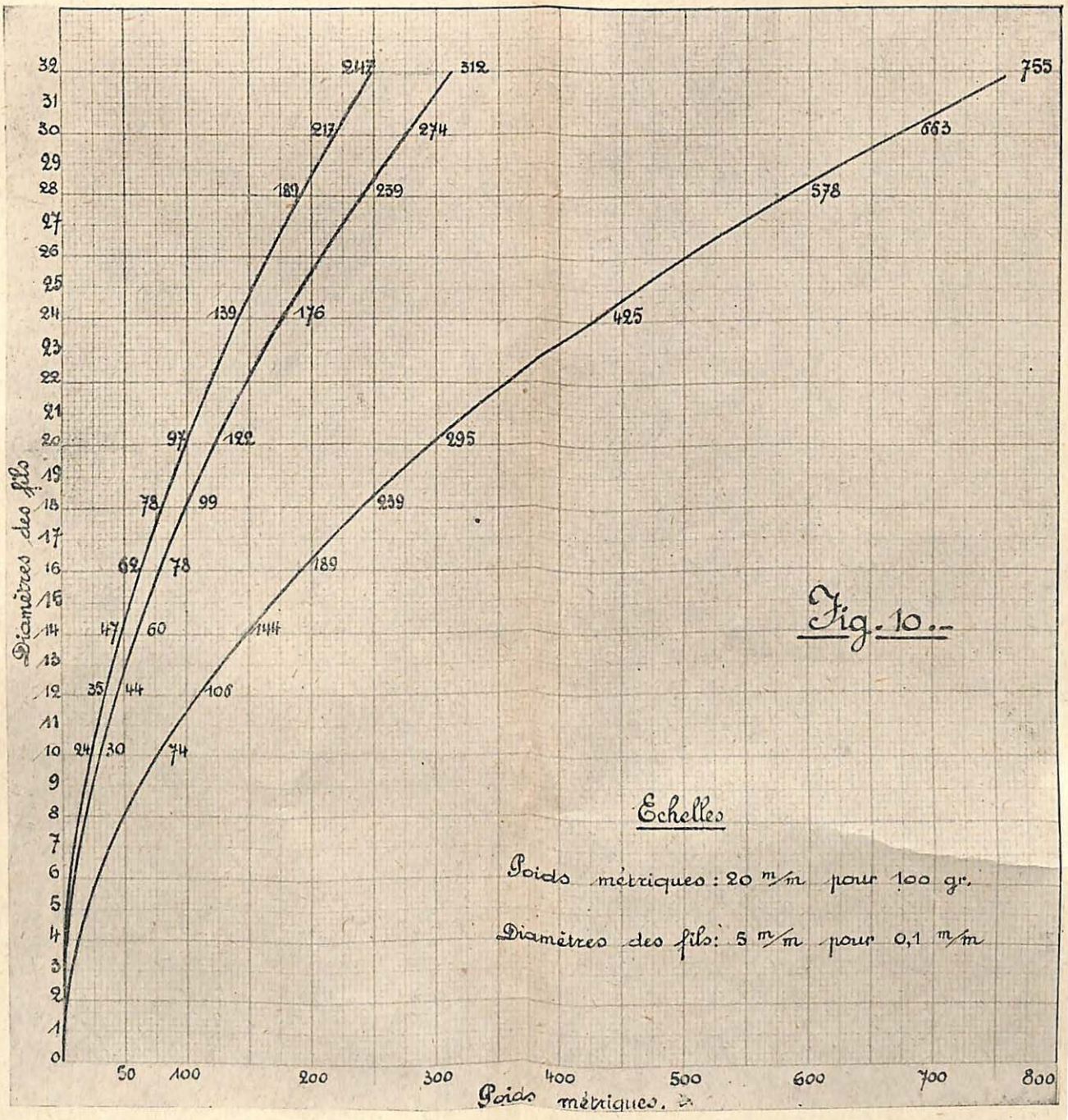


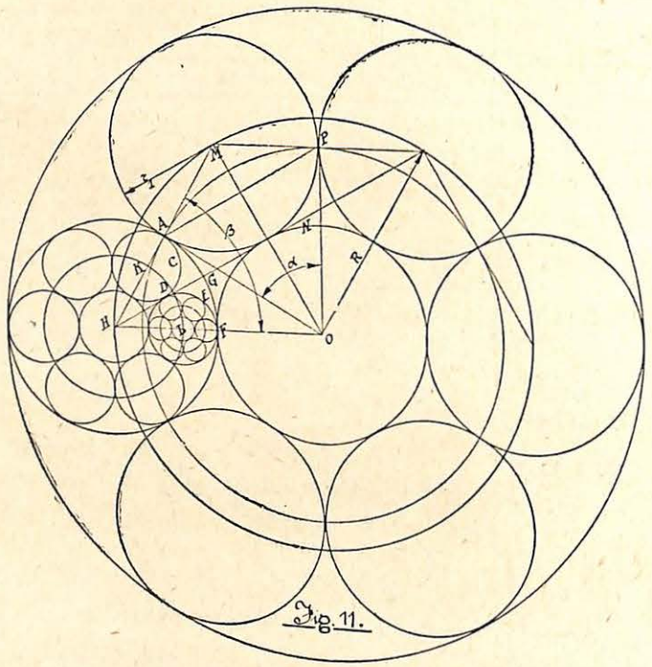
Fig. 10.-

Echelles

Poids métriques : 20 m/m pour 100 gr.

Diamètres des fils: 5 m/m pour 0,1 m/m

commettages simples c'est-à-dire dont les aussières sont de construction ordinaire à torons composés de 6, 19, 37 et 61 fils de même diamètre ou bien à torons des constructions Seal dont il fut question précédemment.



Câbles grelins de composition ordinaire.

La figure 11, envisageant un câble grelin de composition 6 × 6 × 7 va nous servir pour établir la formule générale applicable aux torons de 7, 19, 37 et 61 fils.

L'aire de l'âme centrale se compose :
du cercle de rayon R;
de 12 surfaces A C D E F G A;
de 1/3 × 6n × 24 interstices entre les fils d'un toron et la circonférence extérieure de ce dernier;
moins 6 surfaces A M P N A.

Reprenant les notations précédentes,

$$R = 1{,}73\ r_1 = 1{,}73 \times \frac{3}{2} \times (2n+1)\ d = 2{,}59\ (2n+1)\ d.$$

Surface du cercle de rayon R :

$$3{,}14 \times 2{,}59^2\ (2n+1)^2\ d^2 = 21{,}1\ (2n+1)^2\ d^2 = k.$$

L'aire A C D E F G A est égale au secteur A H F diminué du triangle K H L et des secteurs A K D et D L F (ces derniers sont égaux).

La surface du secteur A H F est exprimée par la formule :

$$\frac{\pi\beta}{180^\circ} \times \frac{\left[3\ (2n+1)\frac{d}{2}\right]^2}{2} = \frac{3{,}14 \times 60^\circ}{180^\circ} \times \frac{9(2n+1)^2\ d^2}{2 \times 4}$$

$$= 1{,}18\ (2n+1)^2\ d^2.$$

Le triangle K H L a pour surface :

$$K\ D \times H\ D = \sin 30^\circ \cos 30^\circ\ (2n+1)^2\ d^2 = 0{,}433\ (2n+1)^2\ d^2.$$

L'angle A K D vaut 120°.

L'aire du secteur A K D vaut donc :

$$\frac{3{,}14}{180^\circ} \times 120, \times \frac{(2n+1)^2\ d^2}{8} = 0{,}262\ (2n+1)^2\ d^2.$$

L'aire A C D E F G A est égale à :

$$1{,}18\ (2n+1)^2\ d^2 - 0{,}433\ (2n+1)^2\ d^2 - 0.524\ (2n+1)^2\ d^2$$

ou

$$0{,}223\ (2n+1)^2\ d^2 = l.$$

L'interstice entre un fil et la circonférence extérieure du toron est donné par l'expression f précédente.

Il y a 1/3 × 6n × 24 interstices semblables, ce qui donne :

$$48\ n\ f.$$

La surface A M P (assimilée à la surface S_1 précédente) est exprimée par :

$$\left(\frac{\pi\alpha}{180^\circ} - \sin\alpha\right) \frac{2{,}59^2\ (2n+1)^2}{2}$$

α étant égal à 60°, on obtient :

$$0{,}6\ (2n + 1)^2\ d^2$$

La surface A N P (assimilée à la surface S_2 précédente) vaut :

$$1{,}39\ (2n + 1)^2\ d^2.$$

Dès lors,

$$S_1 + S_2 = 1{,}99\ (2n + 1)^2\ d^2 = 2\ (2n + 1)^2\ d^2 \sim = m.$$

L'aire de l'âme centrale vaut donc :

$$k + 12\ l + n\ f - 6\ m.$$

ou

$$d^2\ [18{,}07\ (2n + 1)^2 - 24n^3 \sin \frac{60°}{n} - 0{,}192\ (\frac{30°}{n} + 90°)]$$

Pour $n = 1, 2, 3, 4$, ou obtient pour le coefficient de d^2, respectivement 118,80; 335,59; 653,614; 1.047,126, ce qui donne, pour $2p$:

$$\frac{1}{14196}, \frac{1}{40271}, \frac{1}{78432}, \frac{1}{125655}.$$

Il est, dès lors, facile de calculer le poids de l'âme centrale.

Si l'on veut avoir le poids métrique total du textile entrant dans la construction du câble grelin à 6 aussières, du type ordinaire, il faut ajouter six fois le poids de l'âme centrale d'une aussière.

F. — CABLES NUFLEX

Soient :

d le diamètre des fils.

r le rayon des fils.

n le nombre de couches de fils dans les torons.

N le nombre de torons de la couche en contact avec l'âme centrale.

r_1 le rayon du toron.

I. — *Câbles constitués de torons ordinaires.*

Comme précédemment :

$$r_1 = \frac{(2n+1)}{2}\ d$$

$$R = \frac{r_1}{\operatorname{tg} \frac{360°}{2N}} = \frac{(2n+1)}{2\operatorname{tg} \frac{360°}{2N}}\ d$$

Dès lors,

$$S = 3{,}14\ \frac{(2n+1)^2}{4\operatorname{tg}^2 \frac{360°}{2N}}\ d^2 = t.$$

La surface A C D E F G A vaut f.

La surface du segment S_1 est exprimée par :

$$(\frac{3{,}14 \times \frac{360°}{N}}{180°} - \sin \frac{360°}{N})\ \frac{(2n+1)^2}{4\operatorname{tg}^2 \frac{360°}{2N}} \times \frac{1}{2}\ d^2 \text{ ou}$$

$$(\frac{6{,}28}{N} - \sin \frac{360°}{N})\ \frac{(2n+1)^2}{8\operatorname{tg}^2 \frac{360°}{2N}}\ d^2 = u.$$

La surface du segment S_2 vaut :

$$[\frac{(180° - \frac{360°}{N})\ 3{,}14}{180°} - \sin\ (180° - \frac{360°}{N})] \times \frac{(2n+1)^2}{8} \times d^2 = v.$$

Dès lors, la surface de l'âme est donnée par :

$$t + 2\,N\,n\,f - N\,(u + v).$$

N. B. — Cette formule est générale et permet de calculer les âmes des câbles Nuflex quel que soit le nombre des torons intérieurs. Pour 6 ou 8 torons, il suffit de consulter les tableaux relatifs aux câbles ordinaires à 6 ou 8 torons.

Pour N = 7

$n = 1$

$$R = \frac{3\,d}{2 \times 0{,}480} = \frac{3}{0{,}96}\,d = 3{,}12\,d.$$

$$S = 3{,}14 \times 3{,}12^2\,d^2 = 30{,}56\,d^2.$$

Surfaces A C D E F G A :

$$0{,}27\,d^2 \times 14 = 3{,}78\,d^2$$

$$7 \times (S_1 + S_2) =$$

$$7\left\{\left(\frac{2{,}14 \times 51°{,}4}{180°} - 0{,}782\right)\frac{3{,}12^2}{2}\,d^2 + \left[\frac{3{,}14\,(180° - 51°{,}4)}{180°} - \sin\,(180° - 51°{,}4)\right]\frac{9}{8}\,d^2\right\}$$

$$= 7\,(0{,}558\,d^2 + 1{,}6999\,d^2) = 15{,}80\,d^2.$$

La surface de l'âme vaut donc :

$$30{,}56\,d^2 + 3{,}78\,d^2 - 15{,}80\,d^2 = 18{,}54\,d^2$$

Le poids métrique est de

$$18{,}54 \times 120\,d^2 = 2.224{,}8\,d^2.$$

$n = 2.$

$$R = \frac{5}{2 \times 0{,}48}\,d = 5{,}2\,d.$$

$$S = 3{,}14 \times 5{,}2^2\,d = 85\,d^2.$$

Surface A C D E F G A $= 0{,}22 \times 14\,d^2 = 3{,}08\,d^2$

$(S_1 + S_2)\,7 = (1{,}563 + 4\,617)7 = 43{,}26\,d^2.$

Surface de l'âme étoilée :

$$85\,d^2 + 3{,}08\,d^2 - 43\,26\,d^2 = 44{,}82\,d^2.$$

Le poids métrique de l'âme $= 44{,}82 \times d^2 = 5.378{,}4\,d^2.$

$n = 3.$

$$R = \frac{7}{2 \times 0{,}48}\,d = 7{,}3\,d.$$

$$S = 3{,}14 \times 7{,}3^2\,d^2 = 167{,}33\,d^2.$$

Surfaces A C D E F G A valent $0{,}205 \times 14\,d^2 = 2{,}87\,d^2.$

$(S_1 + S_2)\,7 = (3{,}064 + 8{,}951) \times 7 = 84{,}1\,d^2.$

Surface de l'âme étoilée :

$$167{,}33\,d^2 + 2{,}87\,d^2 - 84{,}1\,d^2 = 86{,}1\,d^2.$$

Le poids métrique de l'âme est de $86{,}1\,d^2 \times 120 = 10.332\,d^2.$

$n = 4.$

$$R = \frac{9}{2 \times 0{,}48}\,d = 9{,}37\,d.$$

$$S = 3{,}14 \times 9{,}37^2\,d^2 = 275{,}69\,d^2.$$

Surfaces A C D E F G A valent $0{,}190 \times 14\,d^2 = 2{,}66\,d^2.$

$(S_1 + S_2)\,7 = (5{,}048 + 14{,}798) \times 7 = 103{,}586\,d^2.$

Surface de l'âme étoilée =

$$275{,}69\,d^2 + 2{,}66\,d^2 - 103{,}586\,d^2 = 174{,}76\,d^2.$$

Le poids métrique de l'âme $= 174{,}76\,d^2 \times 120 = 20.971\,d^2.$

Il est dès lors aisé de constituer le tableau V et les courbes de la figure 12.

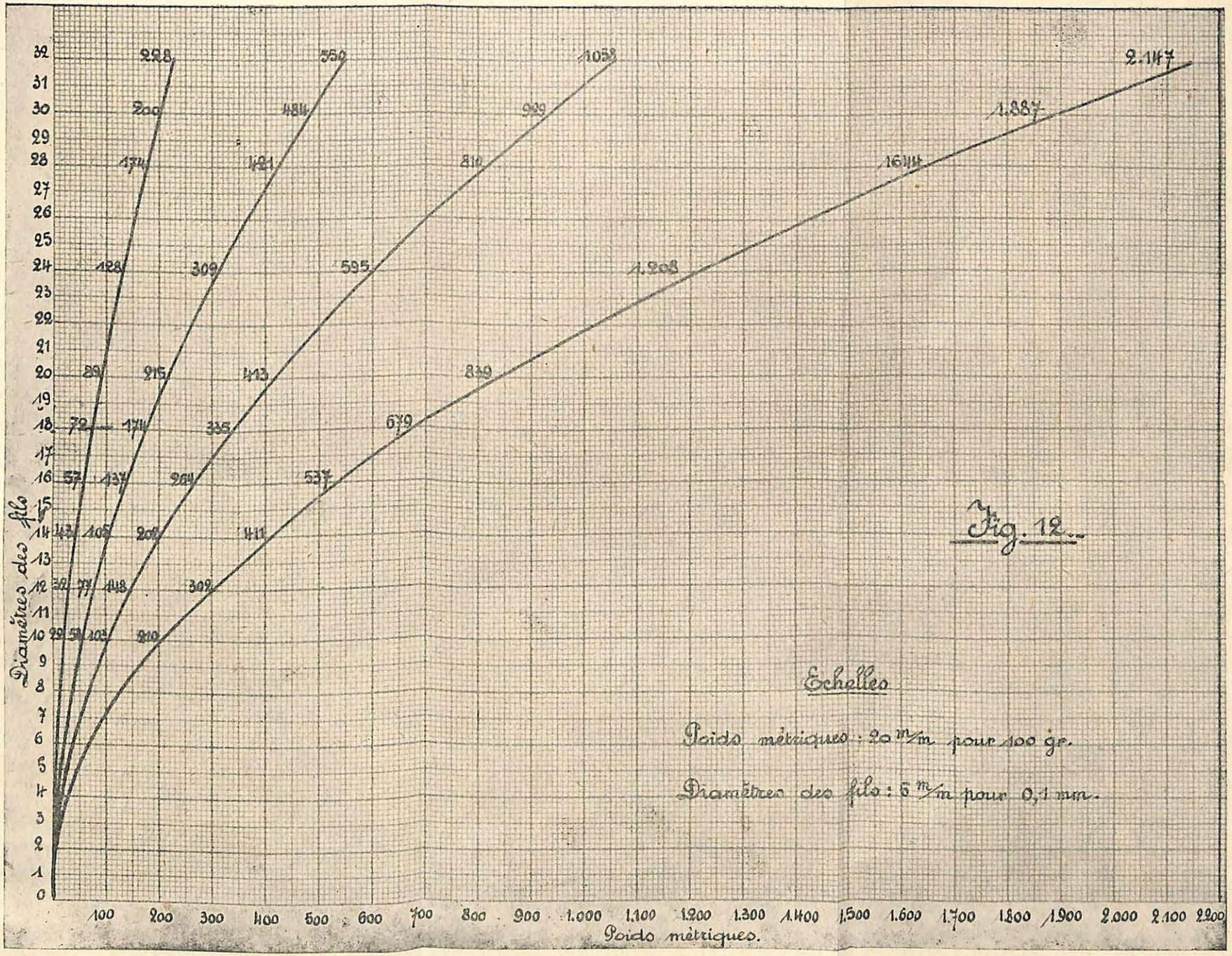

Diamètres des fils
Poids métriques.
Echelles
Poids métriques : 20 m/m pour 100 gr.
Diamètres des fils : 5 m/m pour 0,1 mm.

Fig. 12.

TABLEAU V

donnant le diamètre des fils et le poids métrique de l'âme de quelques câbles Nuflex ordinaires à 7 torons au contact de l'âme.

Diamètre du fil	Poids métrique des âmes (en grammes)			
	$n = 1$	$n = 2$	$n = 3$	$n = 4$
1,0 mm.	22	54	103	210
1,2	32	77	148	302
1,4	43	105	202	411
1,6	57	137	264	537
1,8	72	174	335	679
2,0	89	215	413	839
2,4	128	309	595	1.208
2,8	174	421	810	1.644
3,0	200	484	929	1.887
3,2	228	550	1.058	2.147

2. — *Câbles constitués de torons Seal.*

Soient :

d_1 le diamètre du fil central du toron ;

r_1 le rayon du fil central du toron ;

d le diamètre du toron ;

r le rayon du toron ;

N le nombre de torons de la couche en contact avec l'âme centrale.

$$d = 10{,}5\ r_1 \text{ ou } 5{,}25\ d_1.$$

$$R = \frac{r}{\operatorname{tg}\frac{360^\circ}{2N}} = \frac{2{,}625}{\operatorname{tg}\frac{360^\circ}{2N}}\ d_1.$$

Dès lors,

$$S = 3{,}14\ \frac{2{,}625^2}{\operatorname{tg}^2\frac{360^\circ}{2N}}\ d_1^2 = \frac{21{,}63}{\operatorname{tg}^2\frac{360^\circ}{2N}}\ d_1^2.$$

Ces surfaces A C D E F G A sont au nombre de

$$\frac{n}{N} \times N \times 2 = 2\ n.$$

n représente ici le nombre de fils constituant une couche du toron.

La surface S_1 vaut :

$$\left(\frac{\pi}{180^\circ}\ \frac{360^\circ}{N} - \sin\frac{360^\circ}{N}\right) \times \frac{2\,625^2}{\operatorname{tg}^2\frac{360^\circ}{2N}} \times \frac{1}{2}\ d_1^2.$$

La surface S_2 est exprimée par :

$$\left[\frac{\pi}{180^\circ}\left(180^\circ - \frac{360^\circ}{N}\right) - \sin\left(180^\circ - \frac{360^\circ}{N}\right)\right] \times \frac{2{,}625^2}{2} \times d_1^2.$$

La surface de l'âme étoilée se compose :

du cercle de surface S ;

de $2n$ surfaces A C D E F G A ;

diminué de N $(S_1 + S_2)$.

N. B. — 1) Nous rappelons que les surfaces A C D E F G A valent respectivement : 0,4 d_1^2 ; 0,125 d_1^2 ; 0,082 d_1^2 ; pour les torons à 7, 9 et 10 fils par couche.

2) Pour 6 ou 8 torons, il suffit de consulter les tableaux relatifs aux câbles Seal à 6 ou 8 torons.

Pour N = 7, n = 7.

$$R = \frac{2{,}625}{\operatorname{tg}\frac{360^\circ}{2N}} = \frac{2{,}625}{\operatorname{tg}\ 25^\circ 42'} = \frac{2{,}625}{0{,}4812} = 5{,}455\ d_1.$$

$$S = 3{,}14 \frac{2{,}625^2}{\operatorname{tg}^2 \frac{360^\circ}{2N}} d_1^2 = \frac{21{,}630}{0{,}2315} d_1^2 = 93{,}434\ d_1^2.$$

Surfaces A C D E F G A =

$$0{,}4\ d_1^2 \times 2n = 0{,}4\ d_1^2 \times 14 = 5{,}6\ d^2.$$

$$S_1 = \left(\frac{\pi}{180^\circ} \frac{360^\circ}{N} - \sin \frac{360^\circ}{N}\right) \times \frac{2{,}625^2}{\operatorname{tg}^2 \frac{360^\circ}{2N}} \times \frac{1}{2} d_1^2.$$

$$= (0{,}8971 - 0{,}7815) \times \frac{6{,}890}{0{,}2315} \frac{d_1^2}{2} = 1{,}72\ d_1^2.$$

$$S_2 = \left[\frac{\pi}{180^\circ} \left(180^\circ - \frac{360^\circ}{N}\right) - \sin\left(180^\circ - \frac{360^\circ}{n}\right)\right] \times \frac{2{,}625^2}{2} d_1^2$$

$$= (2{,}2433 - 0{,}7815) \times 3{,}445\ d_1^2$$

$$= 1{,}4618 \times 3{,}445\ d_1^2 = 5{,}036\ d_1^2.$$

La surface de l'âme étoilée vaut :

$$93{,}434\ d_1^2 + 5{,}6\ d_1^2 - 7 \times (1{,}72 + 0{,}036)$$

$$= 99{,}034 - 47{,}292 = 51{,}742\ d_1^2.$$

Le poids métrique est de $51{,}742\ d_1^2 \times 120 = 6{,}209\ d_1^2$.

Pour $N = 7$, $n = 9$.

$$R = 5{,}455\ d_1.$$

$$S = 93{,}434\ d_1^2.$$

Surfaces A C D E F G A =

$$0{,}125\ d_1^2 \times 2n = 0{,}125\ d_1^2\ (2 \times 9) = 2{,}25\ d_1^2.$$

$$S_1 = 1{,}72\ d_1^2.$$

$$S_2 = 5{,}036\ d_1^2.$$

Surface de l'âme étoilée =

$$(93{,}434\ d_1^2 + 2{,}25\ d_1^2) - 7\ (1.72\ d_1^2 + 5{,}036\ d_1^2) =$$

$$95{,}684\ d_1^2 - 47{,}292\ d_1^2 = 48{,}392\ d_1^2.$$

Poids métrique de l'âme =

$$48{,}392\ d_1^2 \times 120 = 5.807\ d_1^2.$$

Pour $N = 7$, n = 10 fils.

$$R = 5{,}455\ d_1.$$

$$S = 93{,}434\ d_1^2.$$

Surfaces A C D E F G A =

$$0{,}082\ d_1^2 \times 2n = 0{,}082\ d_1^2 \times 20 = 1{,}640\ d_1^2.$$

$$S_1 = 1{,}72\ d_1^2.$$

$$S_2 = 5{,}036\ d_1^2.$$

Surface de l'âme étoilée =

$$(93{,}434\ d_1^2 + 1{,}640\ d_1^2 - 7\ (1{,}72\ d_1^2 + 5{,}036\ d_1^2) =$$

$$95{,}074 - 47{,}292 = 47{,}782\ d_1^2.$$

Le poids métrique de l'âme est de :

$$47{,}782\ d_1^2 \times 120 = 5{,}734\ d_1^2.$$

On peut dès lors calculer les nombres du tableau VI et tracer les courbes de la figure 13.

TABLEAU VI

donnant le diamètre des fils et le poids métrique de l'âme de quelques câbles Nuflex de construction Seal à 7 torons au contact de l'âme.

(n = le nombre de fils constituant une couche du toron.)

ϕ du fil central	$n = 7$ fils	$n = 9$ fils	$n = 10$ fils
1,0 mm.	62	58	57
1,2	89	83	82
1,4	122	114	112
1,6	170	149	147
1,8	201	188	186
2,0	248	232	229
2,4	358	334	330
1,8	487	455	449
3,0	559	522	516
3,2	636	594	587

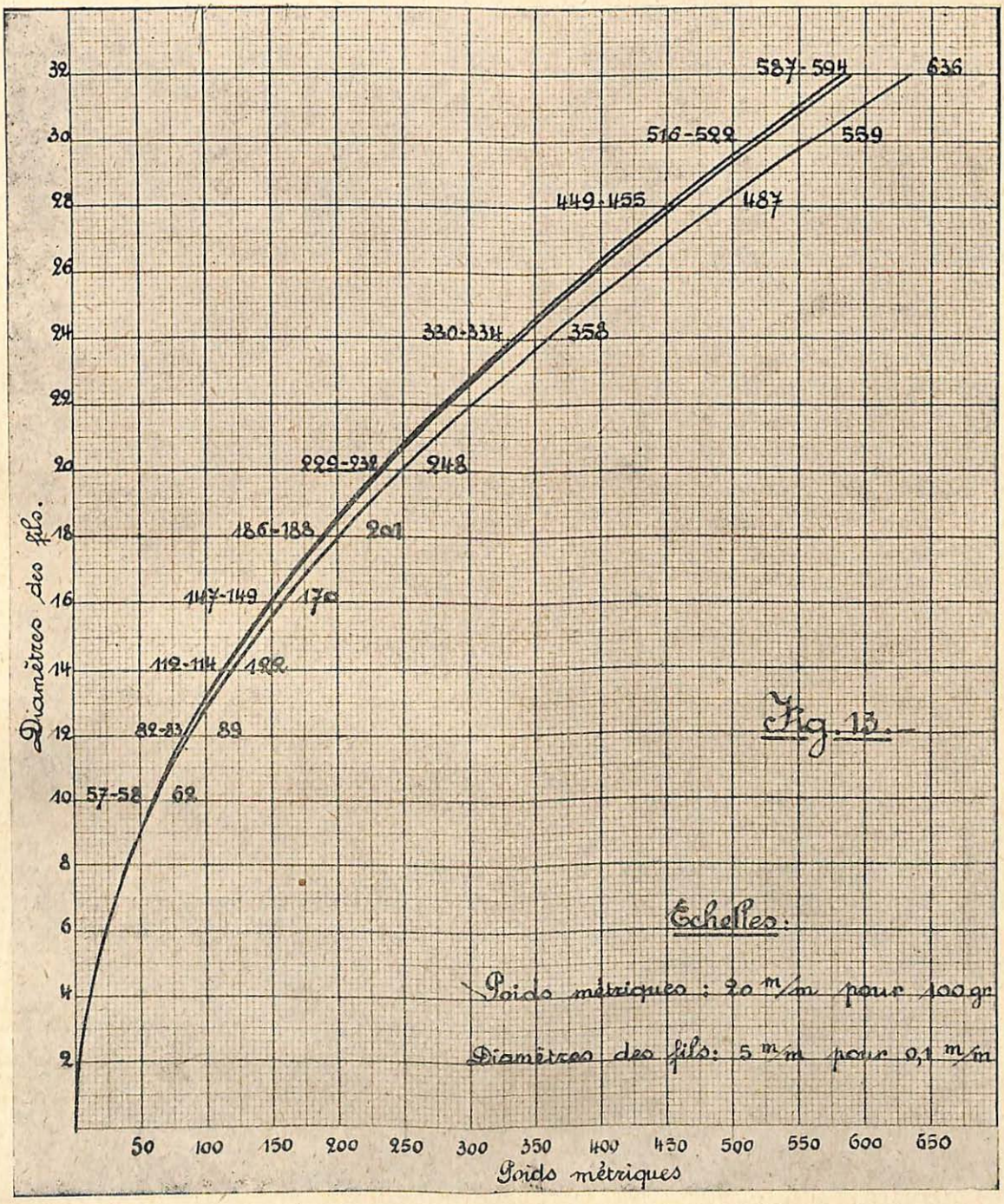

Diamètres des fils.
Poids métriques
32
30
28
26
24
22
20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
50
100
150
200
250
300
350
400
450
500
550
600
650
587-594
636
516-522
559
449-455
487
330-334
358
229-232
248
186-188
201
147-149
170
112-114
128
89-93
89
57-58
62
Échelles:
Poids métriques : 20 m/m pour 100 gr
Diamètres des fils: 5 m/m pour 0,1 m/m

Fig. 15.