MÉTHODE GRAPHIQUE
POUR LE
CALCUL DES PYLONES MÉTALLIQUES [1]

Le grand développement des usines à vapeur et des puissantes usines hydro-électriques produisant l'énergie électrique, a conduit tout naturellement à l'étude des grands transports d'énergie électrique.

Les poteaux en bois, très utilisés pour les lignes de faible puissance, se sont montrés franchement insuffisants pour l'équipement des lignes à haute tension et à conducteurs de gros diamètres.

Le pylône métallique plus robuste et n'offrant pas les mêmes inconvénients que le bois, est de plus en plus employé.

Nous avons cherché une méthode rapide de calcul des pylônes métalliques.

La méthode graphique que nous développons ci-dessous permettra d'établir rapidement les principales caractéristiques de l'ouvrage.

Nous pensons, qu'arrivant à son heure, elle pourra rendre de très grands services aux ingénieurs exploitants qui ont souvent à faire des calculs de ce genre.

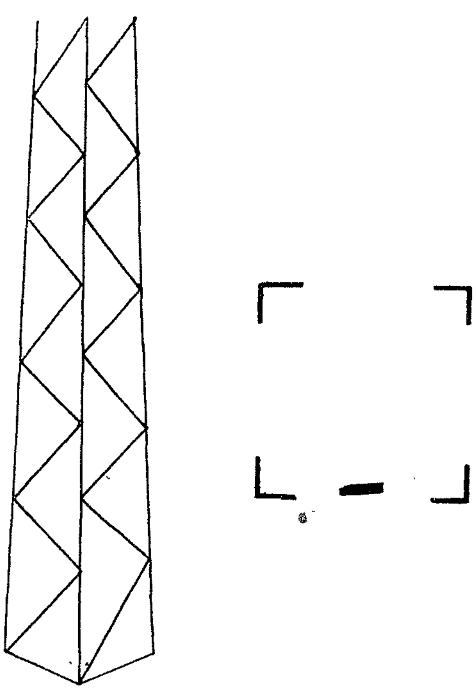

Fig. 1

Nous n'envisageons que le cas le plus général des pylônes métalliques, soit :

Pylône à base carrée, composée de quatre montants en cornière à ailes égales et croisillons en cornière également, disposés suivant fig. (1).

Le problème que nous nous proposons de résoudre est le suivant :

Connaissant l'effort au sommet du pylône Z, l'effort tranchant T, la hauteur du pylône H, la largeur du pylône B, trouver les profils des croisillons et des montants

Calcul des Croisillons

Le pylône étant carré, l'effort tranchant T agit sur les deux faces soit sur les croisillons des deux faces.

Ces croisillons sont alternativement tendus et comprimés. Nous considérerons le cas le plus défavorable qui est celui du croisillon soumis à la compression compliquée de flambage. Soit :

α l'inclinaison du croisillon sur l'horizontale ;
s la section du croisillon ;
l la longueur de flambage ;
r l'effort unitaire que supporte le croisillon ;

on a :

$$r = \frac{T}{2\, s \cos \alpha} \qquad (1)$$

obtenu en décomposant l'effort tranchant T suivant la direction des deux croisillons.

La formule de Résal relative au flambage donne pour le coefficient (S) :

$$S = l + \frac{k\, l^2 s}{m\, I \min}$$

dans laquelle : k est un coefficient dépendant des matériaux 0.011 pour l'acier.

l est la longueur soumise au flambage en mètres ;

m un coefficient dépendant du mode de fixation $m = l$ pour le cas des croisillons.

$I\, min$ le moment d'inertie minimum en cm^2.

s la section en mm^2.

Il faut que r soit plus petit ou au plus égal au travail unitaire limite f imposé. Ce travail unitaire limite f varie suivant l'échantillon d'acier adopté, et suivant le coefficient de sécurité.

La formule générale est donc :

$$f = \frac{T}{2\, s \cos \alpha}\left(l + \frac{k\, l^2 s}{m\, I \min}\right) \qquad (2)$$

C'est cette formule que nous vous proposons de calculer graphiquement.

Largeur du pylone, longueur de flambage

Soit :

B la largeur du pylône,
l la longueur de flambage,
α l'inclinaison du croisillon sur l'horizontale ;

ces trois quantités sont liées par la relation :

$$B = l \cos \alpha \qquad (3)$$

pour α ou $\cos \alpha = G =$ constante, l'équation devient $B = Gl$ qui est l'équation d'une droite.

Ces droites ont été inscrites dans le quadrant XOY pour diverses valeurs de α :

$$\alpha = 45°,\ 40°,\ 35°,\ 30°,\ 20°$$

Pour la commodité des lectures, l'échelle des largeurs des pylônes a été reportée sur la droite.

Courbes relatives aux divers profils

L'équation générale (2) peut s'écrire :

$$= \frac{T}{2\, f \cos \alpha}\left(l + \frac{k\, l^2 s}{m\, I \min}\right) \qquad (4)$$

Pour un profil donné, s et I sont des constantes, de même que k et m.

Posons :

$$\frac{T}{2\, f \cos \alpha} = Y \qquad \text{et } l = X$$

L'équation devient :

$$s = Y\ (1 + DX^2)$$

courbe qui peut se construire par points. Chaque courbe se rapportera à un profil déterminé. Cette famille de courbes a été construite dans le quadrant X O Y ; les longueurs de flambage l étant portées sur O X et $\dfrac{T}{2 f \cos \alpha}$ étant portées sur O Y.

[1] Extrait de l'ouvrage : *Guide pratique pour le calcul des lignes électriques aériennes a courants alternatifs simples et triphases* et de la *Méthode graphique pour le calcul des pylônes métalliques*, par Pionchon, Heilmann et Valensi, in-8° avec gravures et abaques — Librairie de la Houille Blanche, J. Rey, Grenoble.

Calcul graphique de $\dfrac{T}{2\,f\cos\alpha}$

Nous porterons T sur OY'

Pour f=constante et $Y=\dfrac{T}{2f}$ nous aurons :

$$Y = MT \text{ en posant } M = \text{constante} = \frac{1}{2f}$$

Nous porterons $\dfrac{T}{2f}$ sur OX' et T sur OY'

Pour chaque valeur de f nous aurons une droite, soit dans le quadrant Y' OX' la famille des droites f.

De même en portant $\dfrac{T}{2f}$ sur O X' et $\dfrac{T}{2\,f\cos\alpha}$ sur O Y nous obtiendrons une famille de droites α dans le quadrant Y' OX.

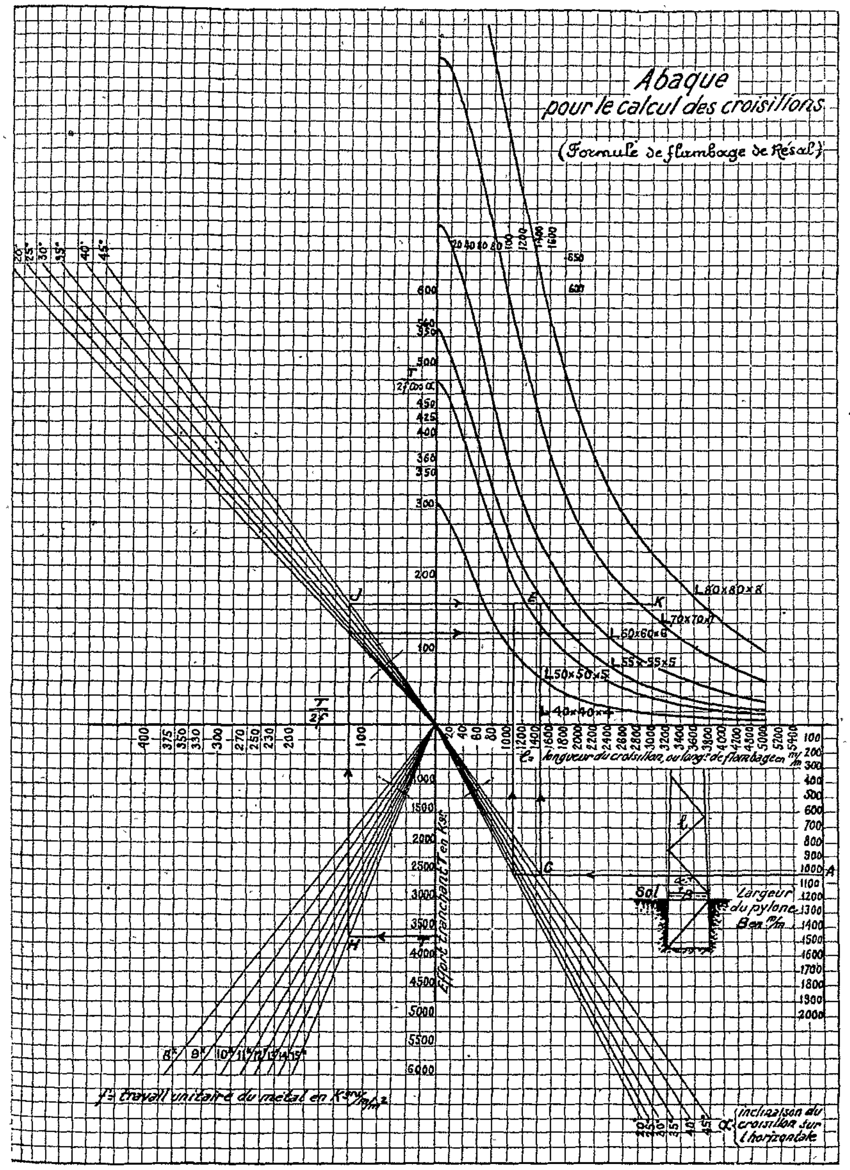

Fig. 2

Mode d'emploi de l'abaque. — Supposons que l'effort tranchant T étant déterminé, on se fixe une base B (B=1040 mm), une inclinaison des croisillons $\alpha=45°$ et un travail unitaire maximum du métal f= 15 kgs/mm².

Partant de B=1040 mm., nous cheminons horizontalement (AC), jusqu'à $\alpha=45°$, puis verticalement CE.

Reprenant à partir de l'effort tranchant fixé T=3375 kgs, cheminons horizontalement HT jusqu'à la droite f = 15 kgs/mm², puis verticalement HJ jusqu'à =45° et enfin horizontalement J K jusqu'au croisement E avec CE.

La cornière qu'il faudra adopter est celle de la courbe immédiatement au-dessus du point E, soit le profil 55.55.5

Pour $\alpha=20°$ l'abaque donne un profil de 50.50.5

Il est facile de voir que suivant les façons de procéder et les points de départ, l'abaque permet de résoudre les problèmes suivants :

I. — La largeur du pylône, l'effort tranchant, le profil et l'inclinaison étant fixés trouver le travail du métal et par conséquent le coefficient de sécurité.

II. — La largeur du pylône, l'effort tranchant, le profil, le travail unitaire étant fixés trouver l'inclinaison pour que le métal travaille juste à la limite permise.

L'abaque permet donc de calculer immédiatement les caractéristiques des croisillons, la largeur, l'inclinaison, le travail unitaire, etc., pouvant varier à volonté.

Calcul des montants

Ce calcul est effectué dans le cas d'un pylône supposé placé dans les mêmes conditions que précédemment, c'est-à-dire pylône carré avec croisillons disposés comme dans la figure (1).

Soit :

Z l'effort supposé appliqué au sommet du pylône.
H la hauteur hors sol du pylône.
B la largeur de la base.
s la section de la cornière du montant.
F l'effort le long du montant.

On aura en prenant les moment par rapport à A (nous négligerons l'inclinaison des montants) et en remarquant qu'il y a deux montants tendus et deux montants comprimés :

$$Z\,H = 2\,F\,B$$

appelons ZH=M moment de l'effort au sommet et si r est l'effort unitaire, l'équation (1) devient :

$$M = 2\ r\,s \text{ d'où l'on tire } r = \frac{M}{2\,B\,s}$$

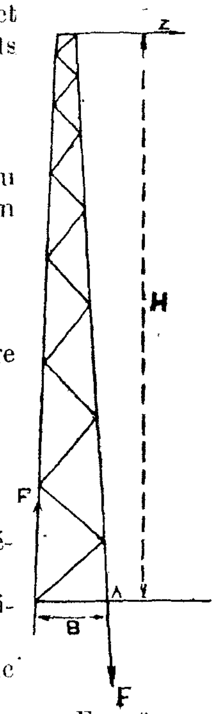

Fig. 3

La formule de Résal relative au flambage est :

$$S = l + \frac{k\,l^2 s}{m\,I}$$

dans laquelle :

k est un coefficient dépendant des matériaux 0,011 pour l'acier.

l la longueur soumise au flambage exprimée en mètres.

m un coefficient dépendant du mode de fixation (m=4 pour les montants)

s la section en mm².

Il faut que r soit plus petit ou au plus égal au travail unitaire limite f imposé.

La formule générale devient donc :

$$f = \frac{M}{2\,B\,s}\left(1 + \frac{k\,l^2\,s}{m\,I}\right) \qquad (2)$$

C'est cette formule que nous interpréterons graphiquement.

Remarque. — Le pylône étant carré la cornière des montants pourra flamber soit le plan vertical dont la trace est A B T, soit dans le plan bissecteur des 2 faces C B U. Le calcul étant fait dans ces deux cas, il faut naturellement prendre les longueurs de flambage et les moments d'inertie qui correspondent respectivement à ces 2 éventualités, soit : :

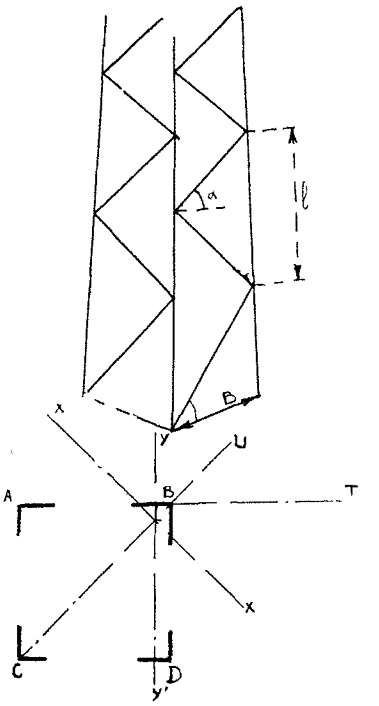

FIG 4

Pour le flambage dans le plan A B T, le moment d'inertie Iy et la longueur de flambage $2\ B\ tg\ \alpha$.

Pour le flambage dans le plan C B U le moment d'inertie Ix ou $I\ min$ et la longueur de flambage $B\ tg\ \alpha$.

Le calcul montre que c'est le premier cas qui est le plus défavorable.

C'est en nous plaçant dans ce cas que nous établirons notre calcul.

INTERPRÉTATION GRAPHIQUE DE LA FORMULE

L'abaque fig. 5 qui nous servira à calculer cette formule est établi sur un principe identique à celui qui a servi à déterminer le profil des croisillons. Nous conserverons les mêmes notations.

Dans le quadrant Y' O X la famille de droites est caractérisée par B = constante au lieu de α = constante.

La disposition des croisillons montre que si B est la largeur du pylône α. L'inclinaison du croisillon sur l'horizontale, la longueur de flambage est :

$$l = 2\ B\ \ tg\ \alpha$$

Nous porterons l suivant O X et B suivant O Y' (ou sur la droite pour faciliter la lecture).

Dans le quadrant X O Y' se placeront les droites α = constante.

L'équation générale (2) peut s'écrire :

$$s = \frac{M}{2\,B\,f}\left(1 + \frac{kl^2 s}{m\,I}\right) \qquad (3)$$

Pour un profil donné B et I sont des constantes

Posons :

$$\frac{M}{2\,B\,f} = Y \text{ et } I = X$$

l'équation devient :

$s = Y\ \ (1\ +\ D\ X^2)$ courbe qui peut se construire par points.

Chaque courbe se rapportera à un profil déterminé.

Cette famille de courbes a été construite dans le quadrant X O Y, les longueurs de flambage l étant portées sur O X et $\frac{M}{2\,B\,f}$ sur O Y.

CALCUL GRAPHIQUE DE $\frac{M}{2\,B\,f}$

Comme précédemment, en portant M sur O Y' et $\frac{M}{2f}$ sur O X', nous aurons une famille de droite f dans le quadrant Y' O X' et en portant $\frac{M}{2\,B\,f}$ sur O Y nous aurons une famille de droites B dans le quadrant X' O Y.

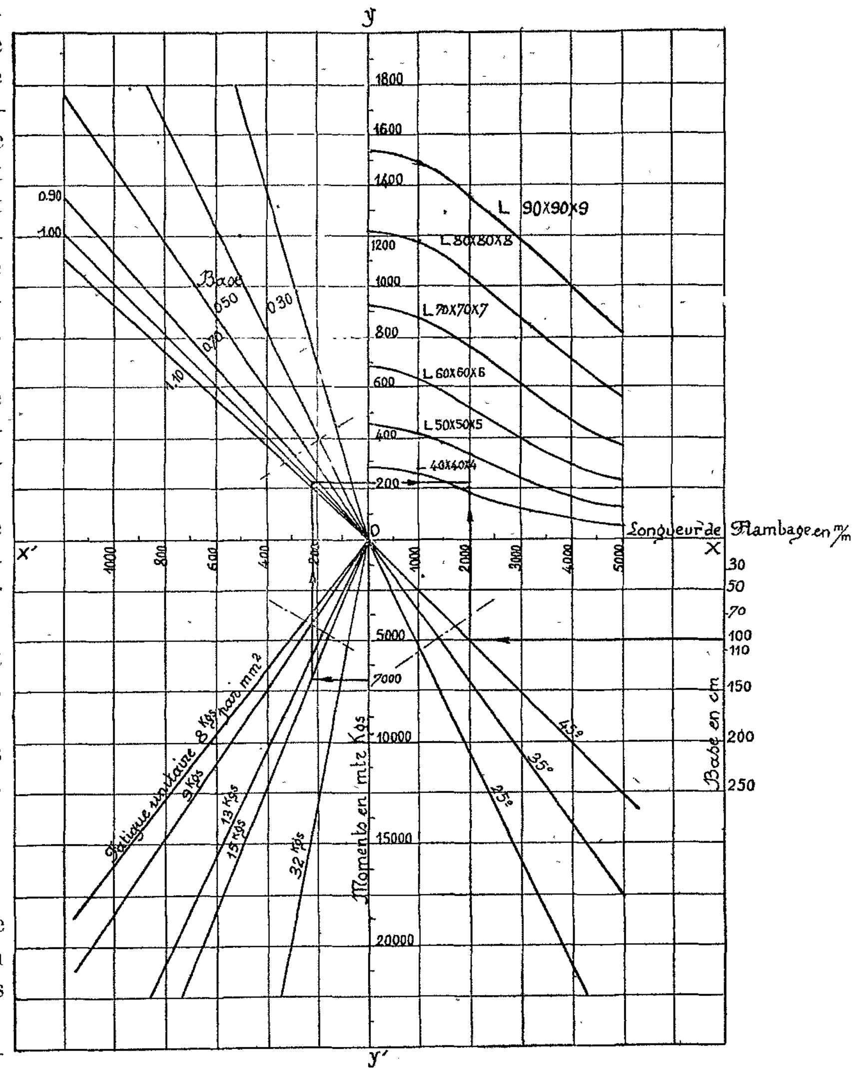

FIG. 5

L'abaque se consulte comme dans le cas des croisillons, avec la seule différence que dans le quadrant X' O Y on s'arrêtera à la droite représentant la largeur de base choisie (en remplacement de l'inclinaison).

R. VALENSI,
Ingénieur E. S. E.

IMPRÉGNATION, SÉNILISATION ET IGNIFUGATION
DES BOIS D'INDUSTRIE
(SUITE)

CARBOLINEUM ET DÉRIVÉS. — Sous les noms de *carbolineum, carboninol, carbonyle, carbonéine,* on désigne différents produits extraits des goudrons de houille et renfermant de la créosote. Le plus employé est le *carbolineum Avenarius,* du nom de son inventeur. Il se distingue par sa densité élevée (1,128 à 170) et sa viscosité. Il ne commence à distiller que vers 230 degrés. D'après les recherches de M. Henry, il pénètre profondément dans les tissus ligneux qu'il imprégne, de sorte que les pluies ou l'action de l'humidité atmosphérique l'en séparent difficilement. Sa couleur est rouge brun ; il brûle d'une manière continue vers 190 degrés, ce qui est évidemment un obstacle