

LE VENT ET LES ANTENNES

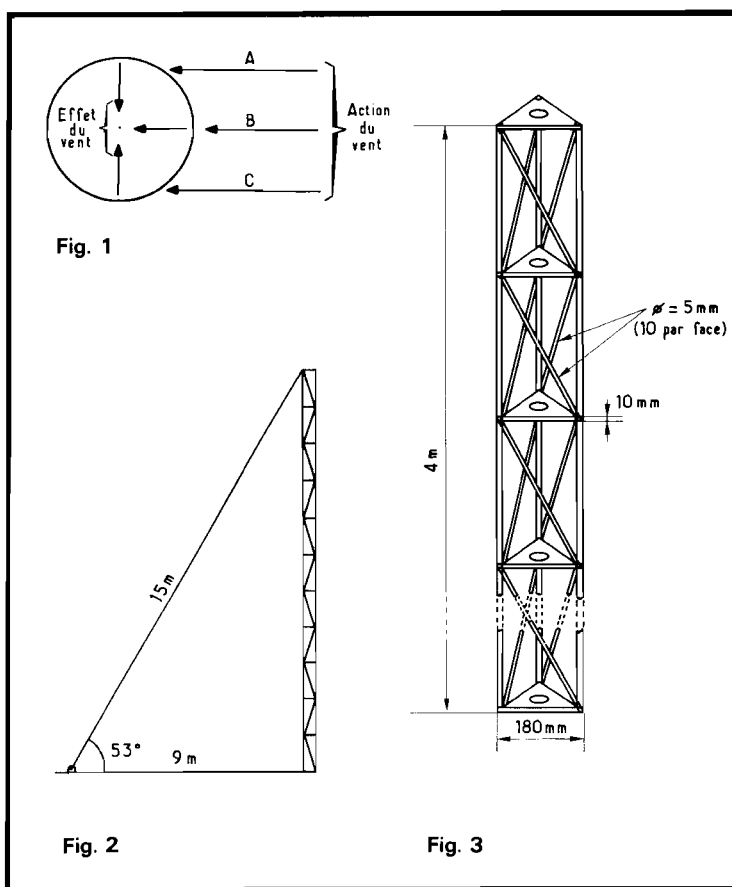
LORSQU'UN amateur réalise sa station ou l'équipe, il est toujours confronté, dans la phase finale, au problème de l'antenne chargée de rayonner l'énergie de l'émetteur. Si nous laissons de côté les antennes filaires tendues entre deux cheminées, deux arbres, voire deux mâts, c'est que le rôle du vent sur un fil est très faible, sinon négligeable. Par contre, des installations modernes d'antennes dirigées rotatives s'effectuent de plus en plus au sommet de mâts métalliques ou de pylônes d'acier. La conception et le montage d'une telle installation destinée à supporter un aérien doit en outre tenir compte de la résistance aux éléments naturels et en particulier au vent. Cette question importante n'a pas, à notre connaissance, fait l'objet du moindre développement dans des revues spécialisées et pourtant une parfaite assimilation est nécessaire pour établir le projet d'une telle installation. C'est probablement parce que l'amateur qui en fait les frais ne se pose aucune question à ce sujet et se fie entièrement à l'installateur. C'est aussi sans doute parce que les mouvements de l'air qui portent le nom de « vent » ne trouvent place pour aucune analyse dans nos revues techniques, qui ont bien d'autres sujets à traiter.

Ayant trouvé dans « Ham-Radio » (août 1974), sous la plume de J. Nagle (K4KJ), une étude très documentée sur la question de la résistance au vent d'un pylône, pouvant conduire à la réalisation totale de toute installation, nous en avons fait une traduction adaptée. Le problème des haubans est également abordé. En fait, le calcul de la poussée du vent est assez sim-

ple. On commencera par déterminer la surface développée des éléments du pylône et de la ou des antennes qu'il supporte et on distinguera deux cas, selon que l'installation est maintenue ou non par des haubans. Pour une meilleure compréhension du raisonnement à conduire et des calculs à entreprendre, nous procéderons à partir d'un exemple pratique.

CALCUL DE LA SURFACE DÉVELOPPÉE

Par ce terme, il faut comprendre la surface équivalente à l'ombre projetée des éléments constituant la tour, le mât ou le pylône à l'étude. Si ces éléments sont plats, la surface développée est équivalente à la surface réelle. Il n'en est pas de même pour une tige de section cylindrique. Observons pour nous en convaincre le schéma de la figure 1 qui représente un barreau soumis à l'action du vent. La plus grande force s'applique en B sur la partie axiale, cependant que les vecteurs A et C agissent d'autant moins qu'ils sont plus près de la tangente avec le cercle. Par ailleurs, leur résultante étant d'amplitude égale et de direction opposée s'annule. Seul le vecteur B se traduit par une force horizontale, appliquée au barreau et on démontre mathématiquement que cette force est proportionnelle à la surface projetée et non à la surface réelle exposée au vent. En réalité, la pression du vent sur un cylindre d'un diamètre donné n'est que les 2/3 de celle exercée sur une surface plate de même largeur, ce qui revient à dire qu'en fait ce sont seulement les 2/3 de la surface projetée qui sont à prendre en compte.



Venons-en maintenant à un cas pratique : soit un mât de 12 m, du type très répandu maintenant (Leclerc, Portenseigne, etc.) dont une section de 4 mètres est représentée figure 2. Ainsi qu'on peut le voir, l'ensemble est à section triangulaire de 18 cm de côté. Les arêtes du prisme sont constituées par des barreaux cylindriques de 20 mm de diamètre entretoisés par des éléments de 36 cm de long et 5 mm de diamètre et par des parties triangulaires équilatérales de 18 cm de côté et 1 cm d'épaisseur. La surface projetée de chaque élément cylindrique principal est donc : $2 \times 400 = 800 \text{ cm}^2$. Chaque face comportant deux montants identiques, on arrive pour deux nervures à $800 \times 2 = 1600 \text{ cm}^2$. A cela s'ajoute la surface des entretoises, soit 11 éléments de 18 cm de long et 1 cm de large d'une part, et 10 tiges de 38 cm de long et 5 mm de diamètre d'autre part, ce qui se traduit par une surface (réelle ou projetée), additionnée, de :

$$(18 \times 1 \times 11) + (38 \times 0,5 \times 10) = 388 \text{ cm}^2$$

La surface équivalente d'une face est donc de :

$$800 + 388 = 1188 \text{ cm}^2$$

ou $0,1188 \text{ m}^2$ pour un élément de 4 m

Le facteur de correction de 2/3 étant appliqué, on trouve

finalement une surface corrigée, approximative, de :

$$\frac{0,1188 \times 2}{3} = 0,0792 \text{ m}^2$$

que nous arrondirons à $0,08 \text{ m}^2$ pour alléger les calculs qui suivront.

Mais le mât à section triangulaire comportant une troisième arête et ses entretoises, il convient d'en tenir compte et d'appliquer le facteur de correction de 1,5 au résultat précédent, soit finalement une surface équivalente, présentée au vent de : $0,08 \times 1,5 = 0,12 \text{ m}^2$ pour un élément de 4 mètres.

FORCE RESULTANT DE L'ACTION DU VENT

Le problème est maintenant de déterminer quelle force développe le vent sur une surface donnée, de manière à en déduire l'effort supporté par le pylône pris comme exemple.

La pression du vent P en kilogrammes par mètre carré s'exprime par la formule :

$$P = 0,0075 V^2$$

dans laquelle V représente la vitesse en kilomètres/heure. On remarque que cette pression est proportionnelle au carré de la vitesse. En appliquant la troisième loi de Newton (action et réaction), cette formule exprime également la

résistance opposée par l'air à la pénétration d'un objet se mouvant à une vitesse donnée. C'est le cas, pour imaginer notre propos, d'une voiture en mouvement. Supposons un véhicule lancé à une vitesse de 60 km/heure et présentant une surface frontale de $2,5 \text{ m}^2$. Pour vaincre la résistance de l'air, supposé parfaitement calme, il doit développer une force de :

$$0,0075 \times 60 \times 60 \times 2,5 = 67,5 \text{ kg}$$

Supposons que la vitesse passe à $60\sqrt{2} = 85 \text{ km/h}$, la force de pénétration passe à :

$$0,075 \times 85 \times 85 \times 2,5 = 135 \text{ kg}$$

c'est-à-dire le double.

Il est facile de vérifier que si la vitesse du véhicule double, la force nécessaire à la pénétration quadruple. C'est ce qui explique que le rendement d'une voiture est supérieur aux vitesses moyennes et que la consommation augmente considérablement aux vitesses élevées.

Mais revenons à notre problème qui est notablement différent dans la pratique puisque, s'agissant du vent, on ne peut naturellement pas agir sur sa vitesse mais seulement résister à ses effets. Notre projet devra évidemment tenir compte de la vitesse des vents les plus violents soufflant dans la région. Une bonne valeur à laquelle on pourra se tenir dans toute la France, sauf peut-être dans les zones côtières, est une vitesse de pointe de 160 km/h qui présente déjà une bonne marge de sécurité. La charge du vent à cette vitesse exceptionnelle qui correspond à une forte tempête, mais dont on ne peut pas exclure le risque au moins une fois l'an, sous nos latitudes, est très voisine de 200 kg par mètre carré ($P = 0,0075 \times 160 \times 160 = 192 \text{ kg}$, exactement).

Si nous revenons à notre problème pratique, énoncé plus haut et arrêté au calcul de la surface à prendre en considération, nous déduisons que notre pylône, par section de 4 mètres, doit pouvoir sup-

porter une poussée horizontale de pointe de : $200 \times 0,12 = 24 \text{ kg}$, soit en supposant une répartition uniforme sur toute la longueur, une charge de :

$$24 : 4 = 6 \text{ kg par mètre}$$

Comme nous avons arrêté notre projet à un mât de 12 mètres, c'est à une force horizontale de $6 \times 12 = 72 \text{ kg}$ que l'ensemble de la tour sera soumis.

Si, pour des raisons de simplicité, nous avons choisi de dresser ce pylône sans haubans, il faut maintenant voir quelle va être l'effet de cette force qui tend à le renverser et déterminer les moyens propres à en assurer la stabilité.

En physique, une force qui a pour résultat le déplacement d'un objet prend le nom de **moment** et se définit par le produit de la force par la distance. Cette nouvelle notion s'exprime en kg/m ou en dynes/cm. Le calcul appliqué à une unité de 12 mètres de haut peut sembler délicat. En réalité, on démontre que, la force étant uniformément répartie sur la longueur, elle se traduit par le même moment que si la même force était appliquée uniquement en un point situé à moitié de la hauteur. Le moment M dans notre cas particulier sera :

$$M = 72 \times 6 = 432 \text{ kg/m}$$

C'est le moment déployé par l'action du vent sur la seule tour dans les circonstances les plus défavorables. Il n'est pas tenu compte de l'antenne. Supposons que celle-ci soit une Yagi 144 ou 432 MHz. La surface projetée, calculée comme précédemment, l'aérien perpendiculaire à la direction du vent, est négligeable. Mais il n'en va pas de même avec une antenne pour bandes décimétriques à plusieurs éléments. C'est encore un cas extrême : nous avons choisi la Hy-Gain 203 BA (3 éléments 14 MHz) pour prendre place avec son rotator en haut du pylône. Sa surface projetée, y compris le rotator est de $0,29 \text{ m}^2$, sur laquelle, à 160 km/h, se développe une force supplémen-

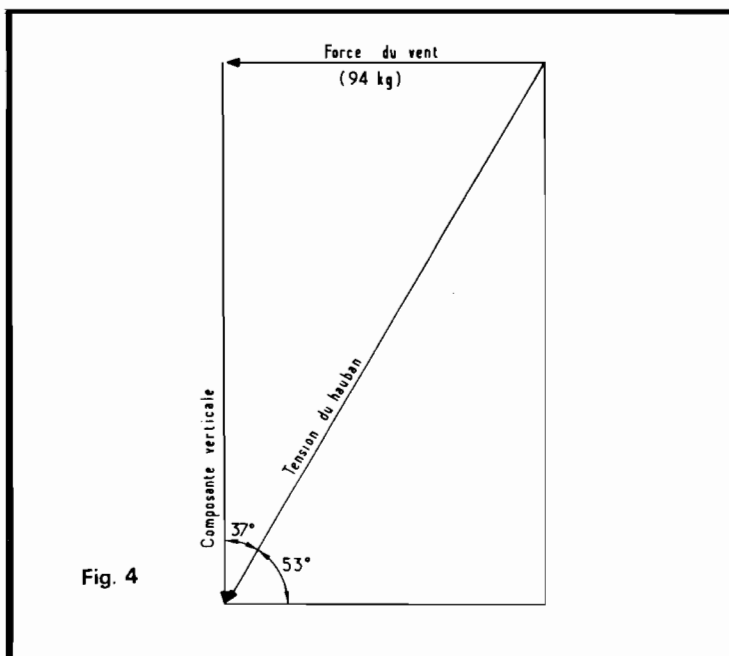


Fig. 4

taire de $200 \times 0,29 = 58$ kg qui produit un moment de $58 \times 12 = 696$ kg/m.

Cette dernière valeur s'additionne à celle déterminée pour le pylône pour donner finalement :

$$432 + 696 = 1128 \text{ kg/m}$$

Ceci peut être assimilé à une force de 1128 kg appliquée à 1 mètre du sol, à une force moitié moindre appliquée deux fois plus haut, à une force de 188 kg appliquée à mi-hauteur ou enfin de 94 kg appliquée au sommet, mais toujours dans le cas extrême d'un vent soufflant à 160 km/h. Il est évident que la fondation à réaliser, combinée à la résistance du sol, doit pouvoir s'opposer à la rotation du pylône autour de sa base.

HAUBANNAGE D'UN PYLÔNE

Le haubannage d'un pylône est souhaitable, toutes les fois qu'on dispose d'un espace suffisant mais il n'est pas certain que cette solution de sécurité soit toujours conciliable avec l'esthétique... voire les goûts du reste de la famille, ce qui, hélas, ne passe pas toujours par une analyse mathématique. Reprenons notre exemple précédent d'un pylône de 12 mètres et imaginons (fig. 3) un hauban fixé au sommet et prenant attache à 9 mètres du pied. La longueur de ce hauban se calculera par le théorème de Pythagore comme étant égale à

$$\sqrt{12^2 + 9^2} = 15 \text{ m}$$

l'angle au sol étant égal à :

$$\tan. \frac{40}{30} = 53^\circ \text{ environ}$$

Lorsque le vent est constant en direction, un seul hauban est nécessaire. Pour des raisons de simplicité, nous nous en tiendrons à cette hypothèse. Une telle disposition annule la force du vent au sommet mais la reporte vers la partie inférieure du pylône dont l'effort se trouve réduit à supporter le poids de l'antenne et ses propres structures ainsi que l'effort de ten-

sion du hauban. Puisque les deux extrémités sont maintenues, on peut donc admettre que leur effort est sensiblement divisé par deux en ce qui concerne le seul pylône, soit $72 : 2 = 36$ kg. La partie concernant l'antenne et son rotateur se rapporte uniquement au sommet du mât, soit 58 kg supplémentaires et donc 94 kg pour le sommet et 36 kg pour la base. La tension du hauban peut être calculée au moyen du vecteur de la figure 4 dans laquelle la composante horizontale est la force du vent soit 94 kg. Cette tension est égale à :

$$F_h = \frac{94}{\sin. 37^\circ}$$

Comme $\sin. 37^\circ = 0,6$ (arrondi)

$$F_h = 94 : 0,6 = 156,66 \text{ kg}$$

L'effort supplémentaire sur la tour, résultant de la présence du hauban, est :

$$F_v = \frac{94}{\tan. 37^\circ}$$

Comme $\tan. 37^\circ = 0,75$ (arrondi)

$$F_v = 94 : 0,75 = 125,33 \text{ kg}$$

En d'autres termes, pour un vent soufflant à 160 km/h, l'effort imposé au hauban sera de 156,66 kg et la charge supplémentaire imposée au pylône (dans le sens vertical) sera de 125,33 kg, c'est-à-dire une charge supérieure au poids d'un pylône classique. On remarquera qu'à des haubans plus longs correspond une charge, sur le pylône, inférieure. Si l'on arrivait à un hauban horizontal, la charge supplémentaire sur le pylône serait nulle. Par contre, le hauban supporterait intégralement la charge au vent.

Nous avons supposé un seul hauban, on s'en souvient, pour des raisons de simplicité. On peut estimer qu'avec deux haubans similaires, l'effort demandé à chacun serait moitié moindre. Mais ce n'est pas si simple. Prenons un cas très typique, fréquemment rencontré parce que judicieux

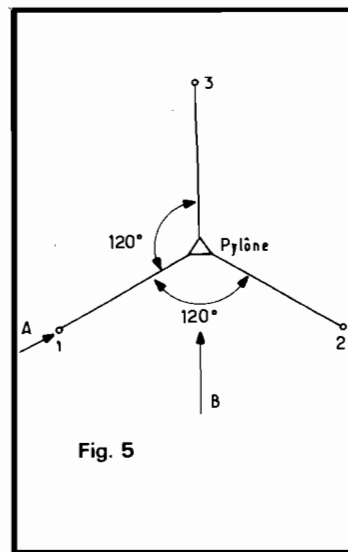


Fig. 5

(fig. 5). Notre pylône est stabilisé par 3 haubans écartés l'un de l'autre de 120° . Supposons que le vent souffle dans la direction A, c'est-à-dire celle du hauban N° 1, les haubans 2 et 3 sont totalement inefficaces et nous retrouvons le cas précédent. Si, par contre, le vent souffle dans le sens B, le hauban N° 3 ne sert à rien et la force du vent, appliquée au sommet (94 kg), est compensée par la tension des deux haubans, chacun supportant $94 : 2 = 47$ kg. La force horizontale dans le sens de chaque hauban est

$$F_h = \frac{47}{\cos 60^\circ} = 94 \text{ kg}$$

(en effet, $\cos 60^\circ = 0,5$).

Dans la pratique, l'emploi de haubans augmentant la charge au sol, le massif de béton qui sert de base au pylône doit être renforcé d'autant. Par contre, il est évident qu'un pylône haubanné résiste mieux à la tempête.

Pour conclure, nous attirons bien l'attention du lecteur sur le fait que les chiffres considérables et quelque peu effrayants correspondent à une situation tout à fait extrême. Les vents d'une telle violence sont extrêmement rares chez nous et ne se produisent, à la limite, que par pointes brèves. Ce qui est tout de même rassurant.

G 3037 ○○○

Que votre ampli soit faible (1 W, 5) ou puissant

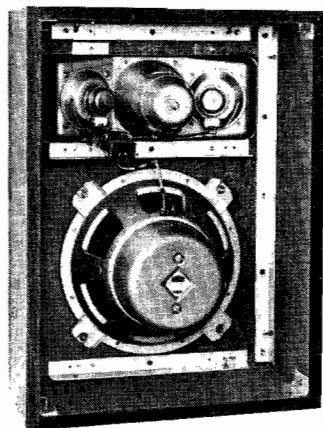


la célèbre combinaison

vous assure un rendement inégalé, avec une excellente musicalité et encaisse sans effort

30 WATTS EFFICACES

- 4 Haut-Parleurs :
- . 1 Boomer 300 mm
 - . 1 Médium à compression
 - . 2 Tweeters 100 mm



Monté dans une armature en aggloméré qui s'habille aisément de bois ou de tissu (facilement agrafable).

Dimensions : 600/450/200 mm

Livrable en 4 et 8 ohms, à un prix . . . agréable.



Bon à découper

NOM _____

Adresse _____

désire recevoir 1 documentation

SIMET

société internationale de matériel électronique et technique
26, rue Etienne Marcel 75002 PARIS Tél. 508.40.46 et 41.44

cleno

Robert PIAT (F3XY)