

# Dimensionnement mécanique d'un support d'antennes

Jean Pierre KAEUFFER F1AHO

*Certains OM tremblent à chaque tempête !...*

*D'autres considèrent que si elle a tenu à la dernière tempête, elle n'était certainement pas assez imposante !...*

*Ne serait-il pas plus logique de dimensionner raisonnablement son support d'antennes ?*

Cet exposé concerne le dimensionnement, par rapport à leur tenue au vent, des tubes support d'antenne, des rotors et des haubanages à l'exclusion du calcul des mâts triangulaires.

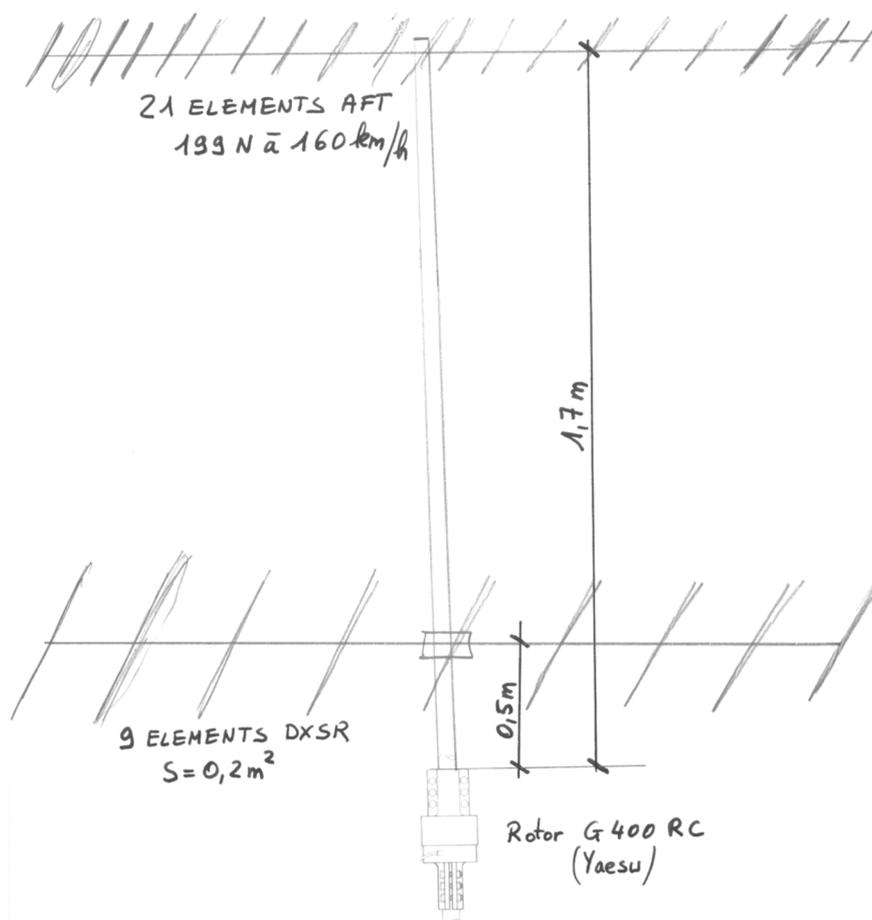
## 1) Choisir ses antennes et les positionner sur le support :

Ce choix se fera en fonction des bandes de fréquence à couvrir, du type de trafic et des performances recherchées.

On veillera à ménager des espacements suffisants entre aériens selon des critères radioélectriques.

Sur le plan mécanique, on aura tout intérêt à placer les antennes les plus imposantes en bas. Ceci est souvent une ineptie d'un point de vue radio car, la plupart du temps, les plus grandes antennes sont prévues pour les fréquences les plus basses et devraient donc être les plus dégagées...

Après mures cogitations on obtient un croquis qui pourrait ressembler à celui-ci :



## 2) L'effet du vent sur le groupement d'antennes :

2-1 Le vent exerce, sur chaque élément, une traînée aérodynamique selon la formule suivante :

$$F = 1/2 \sigma C_x S V^2$$

Où :

F Traînée aérodynamique en [Newtons]

$\sigma$  Masse volumique de (env. 1,2 kg/m<sup>3</sup>)

C<sub>x</sub> Coefficient aérodynamique selon la direction x

S Surface au vent (maître couple) en [m<sup>2</sup>]

V Vitesse du vent en [m/s]

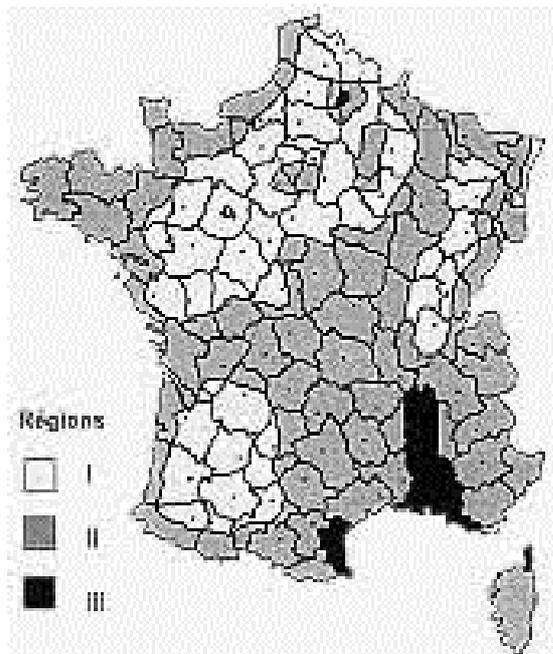
Notons au passage que, dans la formule, V- vitesse du vent- est au carré (si V est multiplié par 2, F est multiplié par 4 !)

2-2 En pratique, quelle vitesse de vent faut-il retenir ?

Plusieurs possibilités :

- Demander à une station météorologique locale ou / et
- Se baser sur les règles « Neige et vent 1965 » (NV65)

Celles-ci partagent la France en 3 zones selon la carte ci-dessous :



Pour chacune des zones, il existe :

- **des sites normaux :**

Plaine ou plateau de grande étendue pouvant présenter des dénivellations peu importantes, de pente inférieure à 10%

- **des sites exposés :**

- Au voisinage de la mer : le littoral en général sur une profondeur de 6 km, le sommet des falaises, les îles ou presqu'îles.
- A l'intérieur du pays : les vallées étroites où les vents s'engouffrent, les montagnes isolées ou élevées, certains cols.

Pour chacune de ces situations, il existe des vitesses de vent « normales » et « extrêmes »

Critère de base		Vitesse des vents en km/h	
Région	Site	Valeur normale	Valeur extrême
1	normal	103	136
1	exposé	122	161
2	normal	122	161
2	exposé	139	184
3	normal	139	184
3	exposé	154	204

### 2-3 Comment obtenir les traînée aérodynamiques de chaque antenne ?

Plusieurs cas :

- le constructeur indique la traînée pour la vitesse qui nous intéresse :  
Nous retiendrons cette valeur.
- Le constructeur indique une traînée aérodynamique mais pas pour la bonne vitesse :  
Il faut faire un petit calcul

$$F_{\text{calc}} = F_{\text{ind}} \times \left( \frac{V_{\text{calc}}}{V_{\text{ind}}} \right)^2$$

Où :

$F_{\text{calc}}$  = traînée aérodynamique pour nos futurs calculs

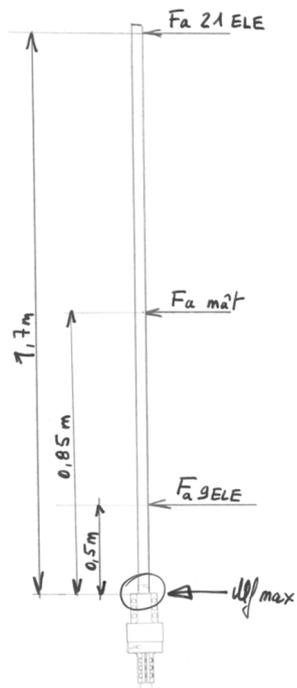
$F_{\text{ind}}$  = traînée aérodynamique indiquée par le constructeur pour :

$V_{\text{ind}}$  = vitesse prise en référence par le constructeur, et

$V_{\text{calc}}$  = vitesse retenue pour les futurs calculs

- Le constructeur indique une surface équivalente au vent :  
La traînée aérodynamique sera calculée sur la base de 800 N/m<sup>2</sup> à 120 km/h ou de 1440 N/m<sup>2</sup> à 160 km/h.
- Le constructeur, c'est vous !  
Il vous faudra calculer la plus grande surface face au vent.  
Pour une antenne en polarisation horizontale, c'est en général la surface latérale de l'antenne  
Calculer la traînée aérodynamique selon les formules du paragraphe précédent.  
(Un tableau en annexe donne quelques caractéristiques d'antenne)

2-4) Nous pouvons maintenant faire un croquis avec les forces aérodynamiques :



2-5) Compte tenu de ma situation, les calculs sont réalisés pour un vent de 160 km/h

2-4-1) Traînée aérodynamique de l'antenne 9 Eléments DXSR

DXSR donne une surface au vent de 0.2 m<sup>2</sup>

$$F_a = 0.2 \times 1440 \text{ N/m}^2 = 288 \text{ N}$$

2-4-2) Traînée aérodynamique du mât

J'ai pré sélectionné un mât de Diamètre extérieur = 48.3 mm

La hauteur du mât au-dessus du rotor est de 1.7m

La surface du mât au vent est de 0.0483 X 1.7 = 0.082 m<sup>2</sup>

$$F_a = 0.082 \times 1440 \text{ N/m}^2 = 118 \text{ N}$$

2-4-3) Traînée aérodynamique de l'antenne 21 Eléments AFT

Nous conserverons la donnée du constructeur de 199N à 160 km/h

### 3) Vérification de la résistance mécanique du tube supérieur :

La théorie de résistance des matériaux nous indique qu'en flexion, la contrainte dans la matière est due à un moment de flexion.

Dans le cas qui nous intéresse, chaque force aérodynamique produit un moment de flexion.

Celui-ci est égal au moment de cette force au point considéré.

Dans le tube supérieur, le moment de flexion est maximum en un point le plus éloigné des forces aérodynamiques c'est à dire tout juste au-dessus des mâchoires de rotor.

C'est également le point faible, l'endroit où le tube romprait en premier.

Nous pouvons donc calculer le moment de flexion des  $F_a$  en ce point :

$$M_f \text{ 9ele} = F_a \times d = 288 \times 0.5 = 144 \text{ Nm}$$

$$M_f \text{ mat} = F_a \times d = 118 \times 0.85 = 100 \text{ Nm (Nota bene : le point d'application de la } F_a \text{ mât est à } H/2 \text{ soit } 0.85\text{m)}$$

$$M_f \text{ 21ele} = 199 \times 1.7 = 338 \text{ Nm}$$

$$M_f \text{ tot} = 144 + 100 + 338 = 582 \text{ Nm}$$

La théorie de résistance des matériaux nous indique également que, pour que notre tube résiste, il faut que

$$M_f \text{ tot} < \sigma_{\text{max}} \times I/V \quad \text{où}$$

$\sigma_{\text{max}}$  est la contrainte maxi admissible pour l'utilisation donnée

et  $I/V$  est le module d'inertie en flexion du tube donné

$$\text{(pour un tube rond : } I/V = (\pi/(32 \times D)) \times (D^4 - d^4) \text{ )}$$

Les tableaux en annexe donnent des valeurs indicatives pour  $\sigma_{\text{max}}$  et  $I/V$

Calcul numérique :

Pour un tube de  $D_{\text{ext}}=48.3$  mm et d'épaisseur 3.3 mm,  $I/V = 4.91 \text{ cm}^3$

$$\sigma = M_f \text{ tot} / I/V$$

$$= 58200 / 4.91 = 11853 \text{ N / cm}^2 \text{ soit } 118.53 \text{ N / mm}^2$$

Pour un acier E24,  $\sigma_{\text{max}}$  (En limite élastique) = 235 N/mm<sup>2</sup> et

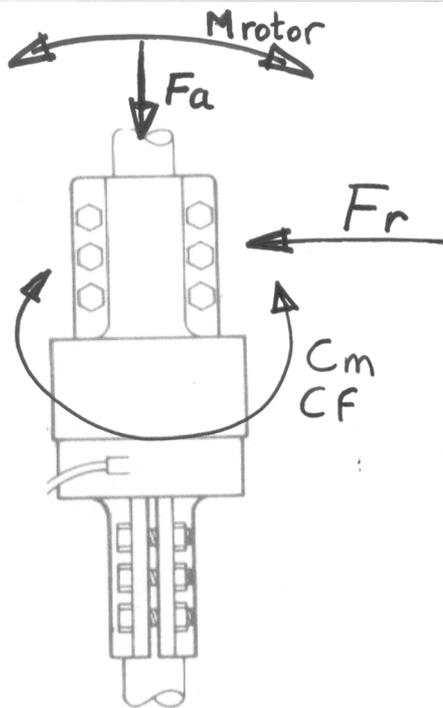
$$\sigma_{\text{pratique max}} = 160 \text{ N/mm}^2$$

**Nous avons donc un coefficient de sécurité  $\sigma_{\text{max}} / \sigma$  par rapport à la limite élastique de près de 2**

#### 4) Vérification de la résistance mécanique du rotor :

##### Les principales caractéristiques mécaniques d'un rotor d'antenne azimuthal :

- L'effort axial ( $F_a$ )



Effort dû au mât et aux antennes se trouvant au-dessus du rotor.

L'effort axial admissible est habituellement donné par le constructeur mais ce n'est pas la donnée la plus importante.

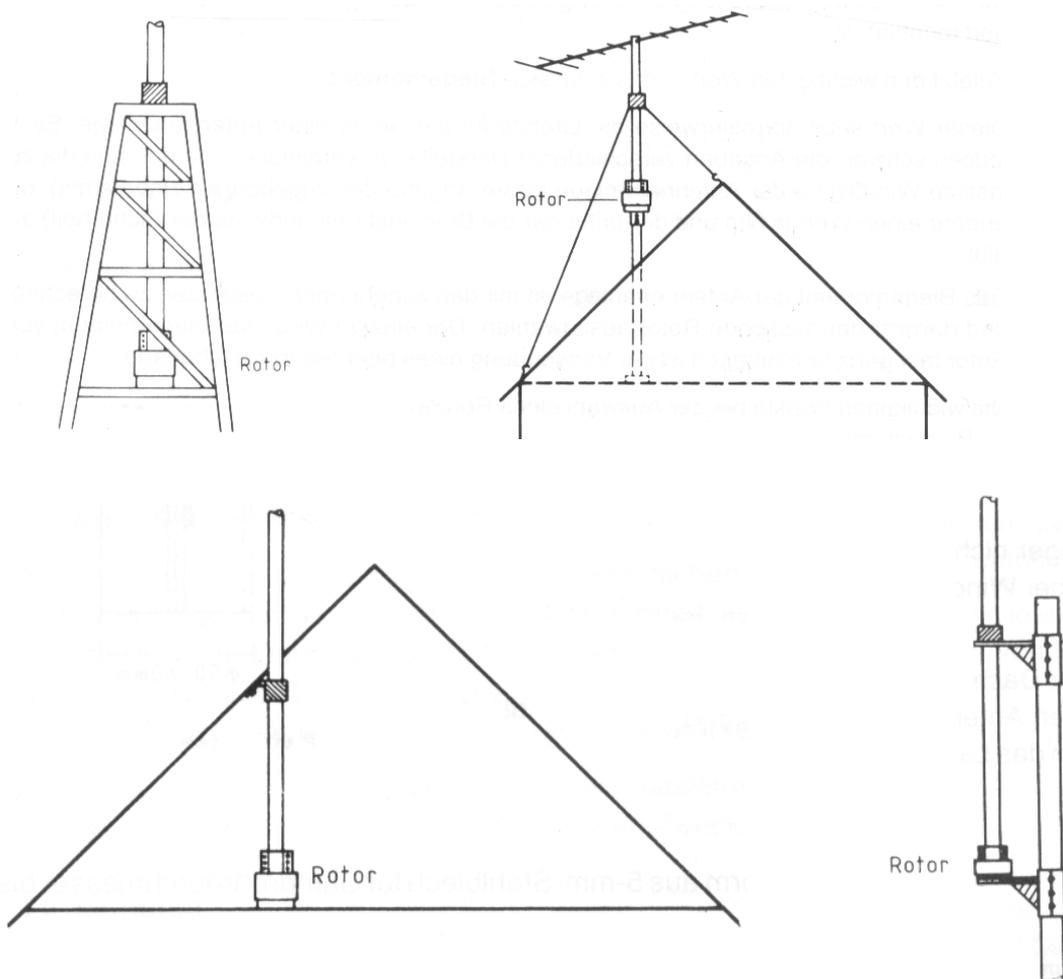
- L'effort radial ( $F_r$ )  
C'est l'effort tendant à « cisailer » le corps du rotor.  
En général, cet effort n'est pas spécifié.
- Le couple moteur ( $C_m$ ) et le couple de freinage ( $C_f$ )  
Le couple moteur permet la rotation des aériens.  
Il devra être supérieur au couple résistant des paliers et au moment en rotation due à la dissymétrie aérodynamique au vent.  
Le couple de freinage devra être supérieur au moment lié à la dissymétrie aérodynamique. (sous rafales de vent)  
Ces couples sont donnés par les constructeurs sérieux ; par contre la détermination théorique de la dissymétrie aérodynamique est quasi impossible.  
On tentera, lors du montage, de la diminuer le plus possible.
- Le moment de flexion rotor ( $M_{rotor}$ )  
La flexion sur le rotor est due à la distance séparant le rotor du point d'application des forces aérodynamiques.  
C'est une donnée importante lorsque le rotor est monté sans cage ni palier

Lors du choix de rotor, il faudra aussi s'assurer que le rotor peut recevoir le ou les tube(s) de mât!  
(Voir le tableau des caractéristiques de rotor en annexe)

Pour un montage sans cage de rotor ni palier, nous vérifierons le moment de flexion rotor.  
Celui-ci devra être inférieur à  $M_f$  tot.

Si ceci n'avait pas été le cas, il aurait fallu choisir un rotor plus solide ou le monter en cage ou avec palier :

## Exemples de montages



### **5) Dimensionnement du tube de mât sous le rotor :**

Si l'extrémité du tube sous le rotor n'est ni guidée ni haubanée, le calcul se fera de manière similaire que pour le tube supérieur mais en calculant le  $M_f$  total par rapport au bas du mât.

Comme le  $M_f$  diminue au fur et à mesure que l'on monte, il est même pensable de commencer en bas avec un gros tube et de diminuer le diamètre ou l'épaisseur du tube en montant.

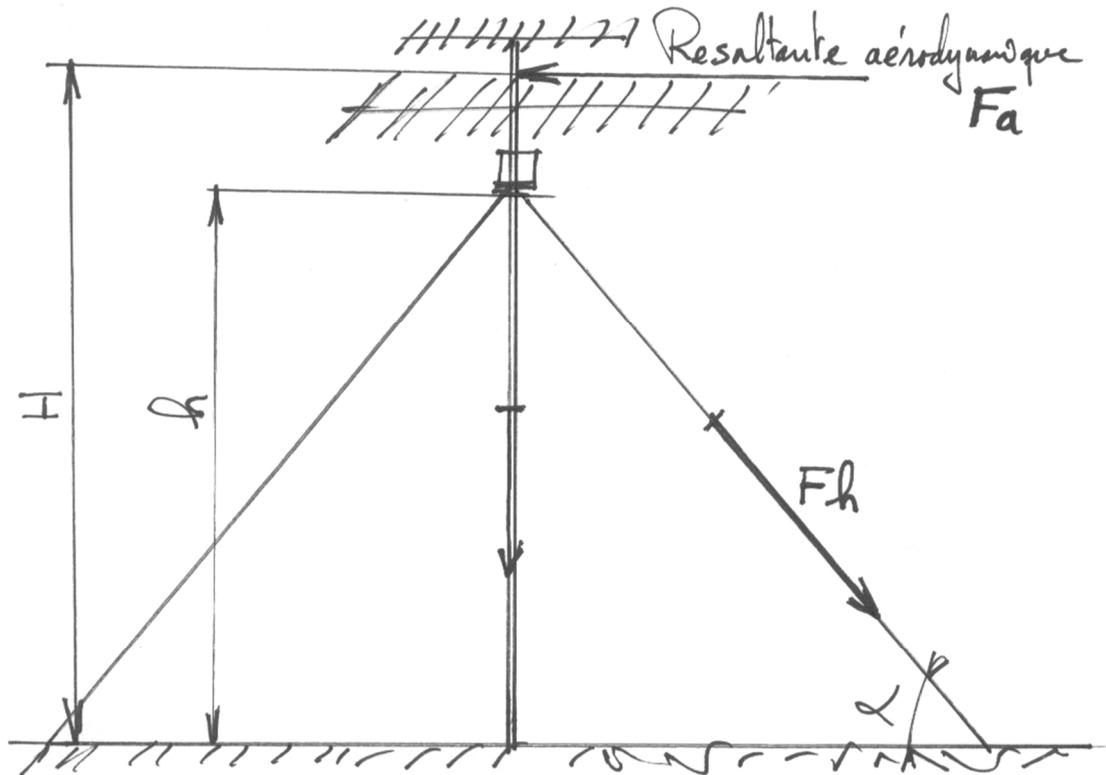
En aucun cas il ne faudra percer ou souder le mât (Concentration de contraintes).

Par ailleurs ne pas choisir un tube trop fin ; une vis de pression, une mâchoire de rotor ou un support d'antenne pourrait créer une déformation de la paroi et par-là un point faible.

Cependant, à moins que les antennes soient petites, que le tube soit court ou de diamètre conséquent on se rendra vite compte qu'il faut haubaner !

## 6) Le haubannage :

Les efforts dans les haubans :



$$\begin{aligned} \text{si 3 haubans} \quad F_{h \max} &= \frac{1}{\cos 30^\circ} \times F_a \times \frac{H}{h} \times \frac{1}{\cos \alpha} \\ &\approx 1,15 \times F_a \times \frac{H}{h} \times \frac{1}{\cos \alpha} \end{aligned}$$

$$\text{si 4 haubans} \quad F_{h \max} = F_a \times \frac{H}{h} \times \frac{1}{\cos \alpha}$$

Quelques conseils :

- Bien que, théoriquement, 3 haubans à  $120^\circ$  suffisent pour chaque niveau, le fait d'en mettre quatre à  $90^\circ$  diminue la tension dans le hauban d'environ 15%. De plus, sur le terrain et encore plus en portable, un angle de  $90^\circ$  est plus facile à apprécier qu'un angle de  $120^\circ$ .
- Le nombre de niveaux de haubannage dépend bien évidemment de la hauteur !

- Un haubanage « raide » engendre un effort axial dans le tube de mât et accentue donc le risque de flambement. (45 ° semble un bon choix)  
De plus un allongement de hauban donné permet un flottement plus important que pour un haubanage plus large.
- Pour un haubanage en fixe, tenir compte de l'agressivité du milieu ambiant (inox, fibre de verre plutôt que polypropylène ou fil de fer !)

J'espère que cet exposé, en améliorant la fiabilité de vos installations, contribuera à l'occupation de nos bandes ...

Riedisheim, mars 2002

F1AHO

### Annexes 1 : Quelques caractéristiques d'antennes

<b>Trainées aérodynamiques</b>				
			[N]	
<b>AFT Tonna</b>				
50 MHz	5	éléments	159	à 160 km/h
144 MHz	4	éléments	24	à 160 km/h
	9	éléments	112	à 160 km/h
	2 x 9	éléments	182	à 160 km/h
	11	éléments	224	à 160 km/h
	13	éléments	211	à 160 km/h
	17	éléments	353	à 160 km/h
432 MHz	9	éléments	33	à 160 km/h
	19	éléments	75	à 160 km/h
	2x 19	éléments	113	à 160 km/h
	21	éléments	199	à 160 km/h
1296 MHz	23	éléments	77	à 160 km/h
	35	éléments	161	à 160 km/h
	55	éléments	244	à 160 km/h
<b>Fritzel</b>				
		FB 33	730	à 160 km/h
		FB 53	1100	à 160 km/h
		FB-DO 450	1015	à 160 km/h
		FB-DO 460	1157	à 160 km/h
<b>DXSR</b>				<b>Surface au vent (m²)</b>
144 MHz	5	éléments		0.09
	9	éléments		0.2
	13	éléments		0.34
14 MHz	3	éléments		0.71

Quelques traînées aérodynamiques				
			( N )	
FLEXA				
144	11	éléments	147	à 160 km/h
430	16	éléments	105	à 160 km/h
430	11	éléments	39	à 160 km/h
144	4	éléments	25	à 160 km/h
144	6	éléments	50	à 160 km/h
144	7	éléments	63	à 160 km/h
144	9	éléments	118	à 160 km/h
430	13	éléments	55	à 160 km/h
430	18	éléments	127	à 160 km/h
430	18	éléments	137	à 160 km/h
430	23	éléments	160	à 160 km/h
1250	15	éléments	31	à 160 km/h
1250	26	éléments	47	à 160 km/h
1250	50	éléments	127	à 160 km/h

Annexe 2 : module d'inertie I/V pour des tubes d'aluminium

Tubes sans soudure courants				
Diamètre ext.	Diamètre int.	épaisseur	Masse	Module d'inertie I/V
(mm)	(mm)	(mm)	(kg/m)	cm <sup>3</sup>
33.7	28.5	2.6	1.99	1.83
33.7	27.3	3.2	2.41	2.14
33.7	25.7	4	2.93	2.49
42.4	37.2	2.6	2.55	3.05
42.4	36	3.2	3.09	3.59
42.4	34.4	4	3.79	4.24
48.3	43.1	2.6	2.93	4.05
48.3	41.7	3.3	3.56	4.91
48.3	40.3	4	4.37	5.70
60.3	54.5	2.9	4.11	7.16
60.3	53.1	3.6	5.03	8.58
60.3	52.3	4	5.55	9.34
60.3	50.3	5	6.82	11.10
76.1	70.3	2.9	5.24	11.75
76.1	68.9	3.6	6.44	14.19
76.1	68.1	4	7.11	15.51
76.1	66.1	5	8.77	18.63
88.9	82.5	3.2	6.76	17.81
88.9	80.9	4	8.38	21.66
88.9	78.9	5	10.30	26.17
88.9	76.3	6.3	12.80	31.53
101.6	94.4	3.6	8.70	26.21
101.6	92.6	4.5	10.80	31.90
101.6	89	6.3	14.80	42.31

### Annexe 3 : caractéristiques physiques pour l'aluminium et l'acier

<b>Caractéristiques physiques:</b>				(valeurs indicatives)
<b>Matière</b>	<b>Contrainte en N / mm<sup>2</sup></b>			<b>Masse volumique</b>
	Valeur pratique	limite élastique	limite rupture	kg/m <sup>3</sup>
<b>Acier</b>				
E 24	160	235	370	7850
E 28	180	260	420	7850
E 36	210	325	510	7850
<b>Aluminium</b>				
6005A	100*	260	285	2700
6060	80*	190	220	2700
6061	100*	270	305	2700
6106	90*	230	265	2700
	*=Fatigue à 10E8 cycles			

### Annexe 4 : CARACTERISTIQUES de quelques rotors d'antenne

<b>Marque</b>	<b>Type</b>	<b>Couple moteur</b>	<b>Couple de freinage</b>	<b>Moment flexion rotor</b>	<b>Charge axiale</b>
		(Nm) max	(Nm) max	(Nm) max	(kg) max
Emoto	105 TSX	70	400	880	300
Emoto	1105 MSX	80	1000	1500	400
Emoto	1200 FXX	300	2100	2110	800
Emoto	1300 MSAX	350	2800	2455	800
Emoto	1800 FSX	480	3350	2945	1000
Emoto	747 SRX	120	800	885	500
Emoto	750 FFX	120	800	900	500
Telex	CD 45	90	240	760	330
Yaesu	G 1000 SDX	110	600	2150	200
Yaesu	G 2700 SDX	110	2400	2940	400
Yaesu	G 2800 SDX	250	2500	2940	300
Yaesu	G 400 RC	60	200	735	200
Yaesu	G 600 RC	70	400	735	200
Telex	HAM 4	150	740	1150	620
Kenpro	KR 1000 S	110	600	1300	200
Kenpro	KR 1300 SDX	125	950	1100	200
Kenpro	KR 2000 RC	150	1000	1600	800
Kenpro	KR 250	20	20	400	50
Kenpro	KR 2700 SDX	250	2400	2940	400
Kenpro	KR 400 RC	40	150	1000	250
Kenpro	KR 600 RC	60	400	1000	250
Kenpro	KR 800 SDX	110	400	1100	200
Create	RC 20-A	500	4000	2800	2000
Create	RC 5-3	60	700	1400	400
Create	RC 5A-3	160	1500	1600	700
Create	RC 5B-3	220	2000	1600	700

## 5. Comment dimensionner un mât et / ou ses haubans.

En cherchant un fournisseur de cordelettes en Kevlar sur le Web, je suis arrivé sur le site du fabricant Mastrant. On y trouve dans le menu <Calcul > tout ce qu'il faut pour tester et dimensionner un mât et les haubanages dans plusieurs configurations.

La force exercée sur les haubans peut être calculée à partir d'un menu déroulant, permettant de choisir la surface présentée au vent, le diamètre et le nombre d'éléments, ou un modèle d'antenne prédéfini.

Pour effectuer le calcul d'un mât avec une seule nappe de haubans et antenne placée au sommet, on admet que la hauteur entre le pied de mât et les attache des haubans est bien plus grande que la distance entre le point d'attache et le sommet.

Les paramètres étant saisis (hauteurs et distances, type d'antenne, choix du mât, la vitesse du vent) le système calculera les forces exercées sur les haubans et le mât. Une estimation de la sécurité de la construction dans son ensemble sera affichée pour le mât choisi.

Mais trêve de bla-bla, un clic sur [www.mastrant.com/fr](http://www.mastrant.com/fr) et vous serez à pied d'œuvre.

The screenshot shows the Mastrant website interface for calculating masts and stays. The main heading is "Mât - Fixation sur un seul niveau". The page includes a navigation menu on the left with options like "Accueil", "Produits et prix", "Calculs", and "Mât - Fixation sur un seul niveau". The main content area contains a form for inputting parameters: "Vitesse du vent" (km/h), "Hauteur de l'antenne" (m), "Hauteur de fixation" (m), and "Distance de fixation depuis la base du mât" (m). There are also fields for "Diamètre extérieur" and "Diamètre intérieur" (mm), and "Matière du mât". A dropdown menu for "Antenne typique" is open, showing various antenna models such as "HF - 3el. tribander ECO", "HF - 3el. tribander TH3\_IRS", "HF - 7el. tribander TH7DX", "HF - 11el. 5-bander TH11DX", "HF - StepIR DB13", "HF - StepIR DB36", "HF - 10el. LP 10-30m LP1010", "HF - 5el. tor 6m F9FT", "HF - 5el. tor 10m LJ105CA", "HF - 5el. tor 15m LJ155CA", "HF - 5el. tor 20m LJ205CA", "HF - 6el. tor 20m HD CWA", "HF - vertical 6-20m R6000", "HF - vertical 6-40m R8", "HF - lin V full-size Z0-160m", "2m - 9el. 2M9", "2m - 11el. F9FT", "2m - 12el. 2M12", and "2m - 17el. F9FT".

Meilleures 73

Florian, HB9HLH