

# ROTOR D'ANTENNE G-250

## I. Mise en situation

L'émission - réception des stations de **radioamateurs** nécessite, selon les segments de fréquence octroyés, des antennes filaires, des brins rayonnants verticaux, des antennes directives rotatives. Ces dernières augmentent le gain en puissance dans la direction choisie.

Le service de radioamateur dispose, dans le spectre radioélectrique de :

- 1 segment de fréquence dans la bande des grandes ondes
- 1 segment dans la bande des ondes moyennes
- 8 segments dans les bandes ondes courtes
- 13 segments dans la plage des ondes ultra courtes et des micro-ondes.

Le radioamateur peut émettre en phonie ou en morse.

Il peut transmettre des fichiers informatiques, des images fixes ou de la télévision.

A l'heure d'internet et des téléphones portables, il peut principalement s'intéresser à l'expérimentation et aux études des phénomènes de propagation des ondes.

Un examen permet d'obtenir une licence.

Le sujet porte sur un **rotor d'antenne motorisé G - 250**, dans le cadre d'une utilisation avec une antenne UHF(Ultra high frequency : 300 à 3000 MHz) ou VHF(Very high frequency : 30 à 300 MHz).

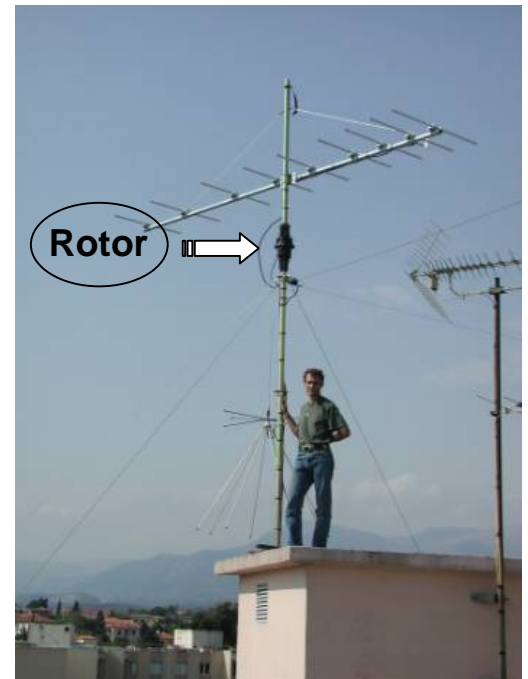
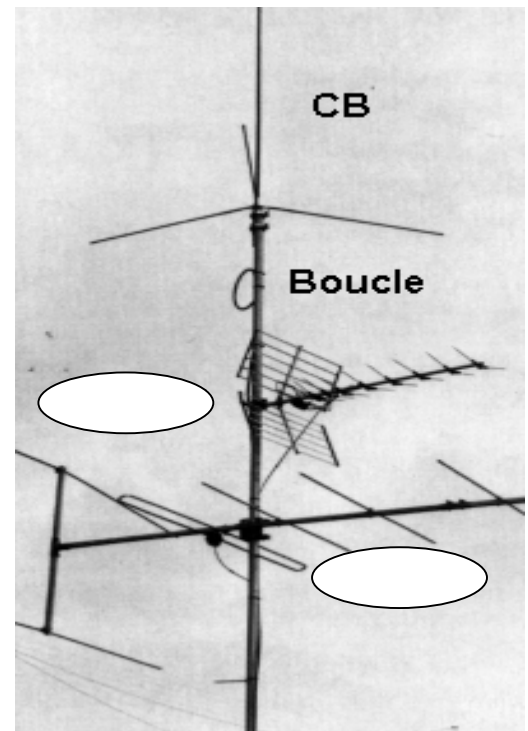
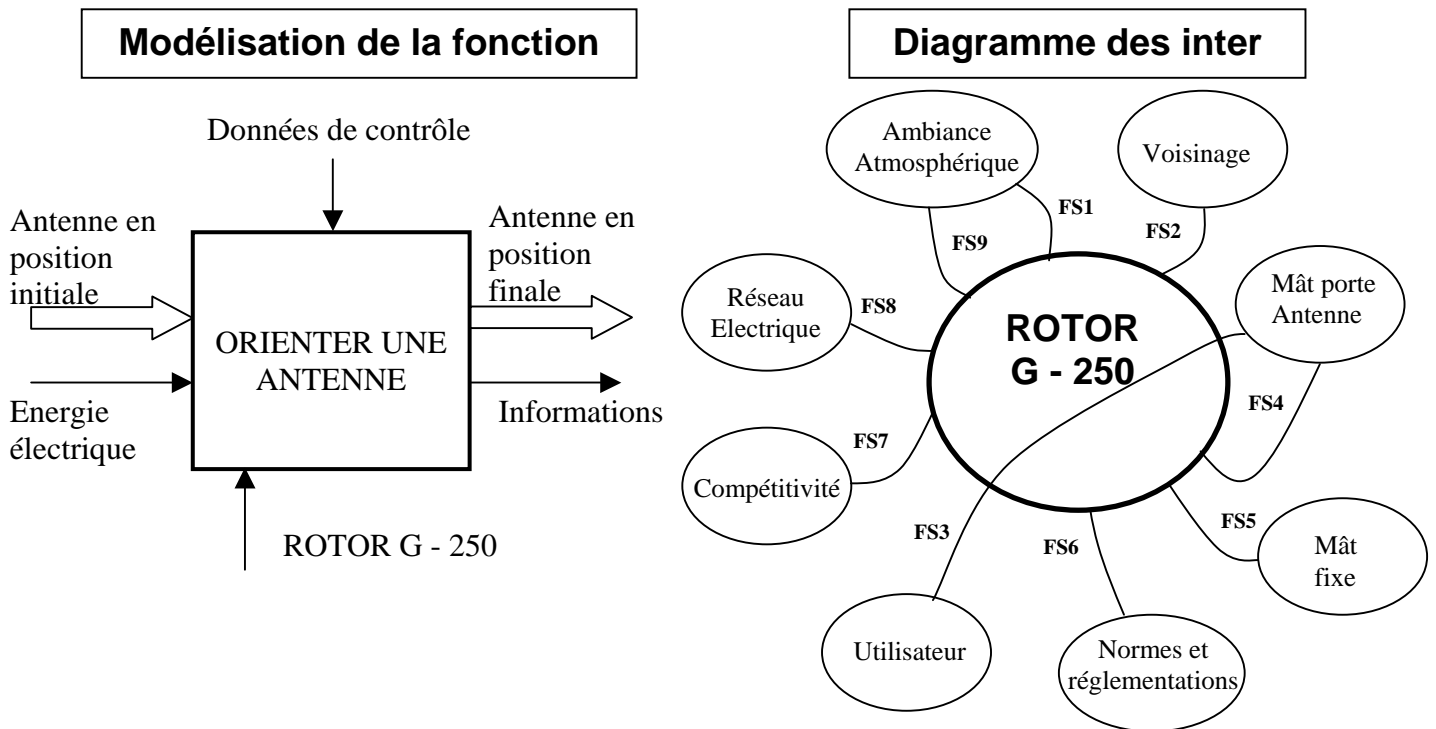


Photo N°1



## II. Modélisation et diagramme des inter-acteurs



## III. Fonctions de service et extraits du cahier des charges

FONCTION	ENONCE	CRITERES
FS1	Assurer la stabilité face au vent	Montage vertical obligatoire Couple de stationnement : 60 N.m
FS2	Ne pas occasionner de nuisance	Intégration discrète et protection pour le voisinage
FS3	Permettre l'orientation de l'antenne sur un azimut	Rotation sur 360° + ou - 2° Temps < 60 s / 50 Hz Couple de rotation : 20 N.m
FS4	Adapter le mât supérieur	Diamètre du mât de 25 à 38 mm
FS5	Adapter le mât inférieur	Diamètre du mât de 25 à 38 mm
FS6	Etre conforme aux normes	Conformité avec la norme en vigueur
FS7	Présenter un prix de vente compatible avec les produits de la concurrence	Environ 200 Euros
FS8	S'adapter au réseau électrique	Tension réseau 230 V AC Tension motrice 24 V
FS9	Résister aux attaques du milieu extérieur	Protection contre la corrosion

**A – ETUDE DE LA FONCTION FS3 : PERMETTRE L'ORIENTATION DE L'ANTENNE SUR UN AZIMUT**

L'étude qui va être conduite a pour but :

- de valider un composant électronique situé dans le pupitre de dialogue ;
- de définir certaines formes d'une roue dentée ;
- de calculer le temps nécessaire pour que l'antenne effectue une rotation de 360 ;
- de comparer par rapport au cahier des charges.

**Première partie : Validation du rhéostat.** (Voir document DT3)

*Répondre sur copie.*

L'opérateur agissant sur le bouton de sélection 36 permet la rotation d'un rhéostat qui communique avec la partie opérative, faisant ainsi tourner le rotor et son antenne.

Le rhéostat (voir photo N°2) est monté en bout de chaîne de commande dans le pupitre de dialogue. Sa partie mobile est repérée 39 (voir schéma).

Les contraintes imposées sont :

- Sur le bouton de sélection 36 : utiliser un angle de rotation  $\alpha_{36} = 360^\circ$  (pour couvrir en un tour les 4 points cardinaux).
- Sur l'engrenage 37-38 : permettre la réduction angulaire.

**Question N° 1** : Calculez le rapport de réduction  $r_{37/38}$  de l'engrenage (  $Z_{37} = 39$  dents,  $Z_{38} = 52$  dents).

**Question N° 2** : Calculez l'angle  $\alpha_{39}$  pour  $\alpha_{36} = 360^\circ$ .

**Question N° 3** : Concluez quant au choix du rhéostat. Justifiez votre réponse.

**Deuxième partie : Définition de certaines formes de la roue 38.**

*Répondre sur copie et sur le document DR1.*

Pour satisfaire la contrainte  $\alpha_{39}$ , la roue 38 doit être munie de deux butées notées : butée N°1 et butée N°2 (voir document DT3). Les points  $B_i$ , centres des butées de 38, correspondent aux positions initiales et les points  $B_f$  aux positions finales. On donne sur le document DR1 la position finale de la butée N°2 et donc du point  $B_2$ , appelé  $B_{f2}$  (voir document DR1 figure 1).

Quelque soit le résultat trouvé précédemment, on prendra  $\alpha_{39} = 270^\circ$ .

**Question N° 4** : Définissez et caractérisez la liaison  $L_{38+39 / 35}$ . (voir DT3)

**Question N° 5** : Déduisez le mouvement de 38+39 / 35, noté  $Mvt_{38+39 / 35}$ .

**Question N° 6** : Définissez et tracez la trajectoire du point  $B_1$ , notée  $T_{B_1 \in 38 / 35}$ . Positionnez le point  $B_{f1}$  sur le document DR1 **figure1**.

**Question N° 7** : Dessinez sur le document DR1 **figure 2** la butée N°2, en position initiale. Cotez l'angle

$\widehat{B_{i1}CB_{i2}}$ .

**Troisième partie : Calcul du temps mis par l'antenne pour faire un tour.**

*Répondre sur copie et sur le document réponse DR2.*

Remarque : le support de mât d'antenne 27 est fixé sur la couronne 15. (voir éclaté document DT1)

Le schéma cinématique du réducteur est donné sur le document DT4. On appelle E1 la classe d'équivalence des pièces fixes liées aux carter 17 et 21.

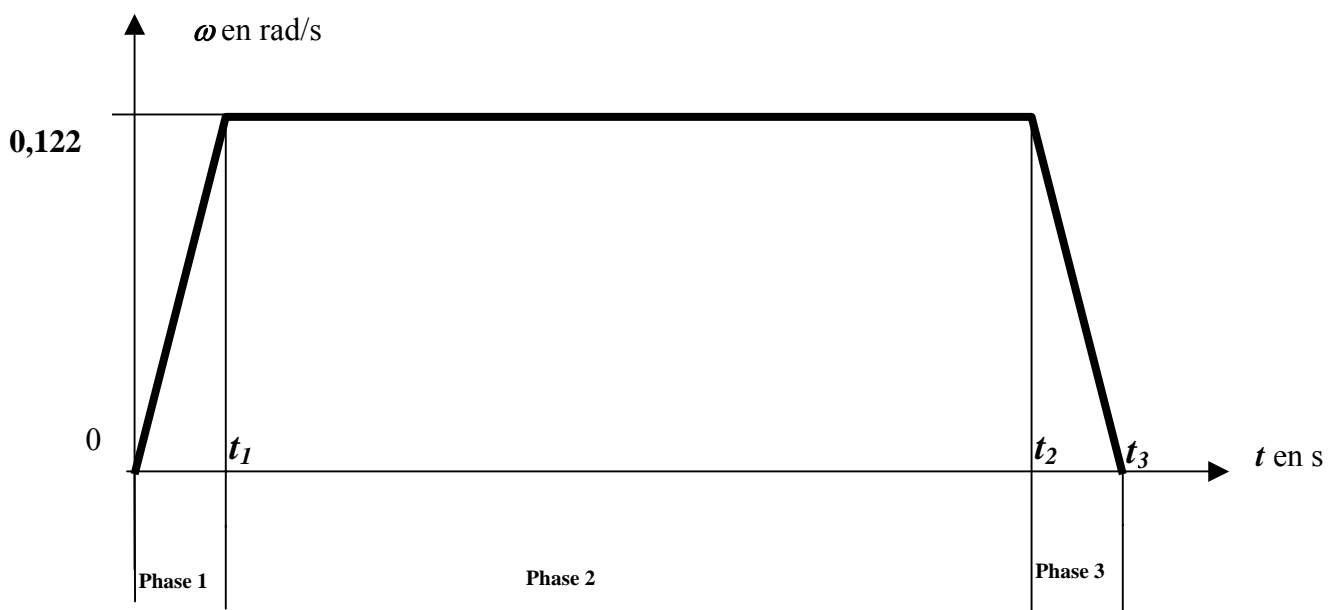
**Question N° 8 :** Complétez les repères manquants des roues dentées sur le document DR2. Faites apparaître clairement les roues indicées a et b (voir nomenclature DT2)

En utilisant le nombre de dents des différentes roues dentées donné dans la nomenclature document DT2 :

**Question N° 9 :** Calculez le rapport de réduction  $r_{5/15}$  du réducteur.

**Question N° 10 :** Calculez la fréquence de rotation  $n_{15/E1}$  si  $n_{\text{moteur}/E1} = 2600$  tr/min. Déduisez la vitesse angulaire  $\omega_{15/E1}$ .

Pour la suite de l'étude on prendra la valeur de  $\omega_{15/E1}$  sur le graphe ci-dessous :



**Allure de la loi des vitesses imposées au mât  
en première approche  
(Échelle des temps non respectée)**

### Rappels de cinématique : Notations utilisées dans les équations de mouvement :

- temps  $t$  en s
- angle de rotation  $\theta$  en rad
- vitesse angulaire  $\omega$  en rad/s
- accélération angulaire  $\omega'$  en  $\text{rad/s}^2$

### Hypothèses :

- **phase 1** : le mouvement du mât par rapport au toit est uniformément accéléré avec  $\omega' = 0,244 \text{ rad/s}^2$ .
- **phase 2** : le mouvement de rotation est uniforme.
- **phase 3** : le mouvement du mât par rapport au toit est uniformément retardé. On suppose que la durée de la phase 3 est égale à la durée de la phase 1 et que l'angle parcouru pendant la phase 1 est égal à l'angle parcouru pendant la phase 3 .
- **l'angle total** parcouru pour les trois phases correspond à un tour du mât.

**Question N° 11** : Ecrivez les équations horaires  $\theta(t)$  et  $\omega(t)$  de la phase 1. Déduisez l'instant  $t_1$  et l'angle  $\theta_1$  correspondant à la fin de cette phase.

**Question N° 12** : Calculez l'angle  $\theta_2$  parcouru à la fin de la phase 2.

**Question N° 13** : Ecrivez les équations horaires  $\theta(t)$  et  $\omega(t)$  de la phase 2 et déduisez l'instant  $t_2$  correspondant à la fin de cette phase.

**Question N° 14** : Déduisez l'instant  $t_3$ .

**Question N° 15** : Comparez le temps  $t_3$  mis par l'antenne pour faire un tour et celui imposé par le concepteur (voir page 2/10). Concluez

## B – ETUDE DE LA FONCTION FS1 : ASSURER LA STABILITE AU VENT

### B - 1 : COUPLE DE STATIONNEMENT

L'étude suivante a pour but de vérifier si le frein du moteur est suffisant pour empêcher la rotation de l'antenne avec un couple de stationnement de 60 N.m.

#### **Première partie : Calcul du couple transmis à l'axe du moteur.**

*Répondre sur copie.*

##### **Hypothèses :**

- Quelle que soit la valeur trouvée précédemment on prendra pour le rapport de réduction du réducteur  $r_{5/15} = 0,00045$  ;
- Le couple de stationnement agissant sur l'antenne, donc sur 15 est égal à  $C_{15} = 60 \text{ N.m}$  ;
- Le moteur est à l'arrêt ;
- L'axe du moteur est vertical ;
- Les frottements sont négligés (cas le plus défavorable ; le rendement  $\eta=1$ ).

**Question N° 16 :** À partir du rapport de réduction donné  $r_{5/15}$ , calculez le couple  $C_5$  qu'il faudra exercer sur le pignon moteur 5.

#### **Deuxième partie : Calcul du couple de freinage et étude du frein.**

*Répondre sur copie.*

Pour bloquer l'axe du moteur on utilise un frein à disques repéré 41 et 46  
( voir documents DT4 et DT5)

**Hypothèses :** - Le couple de freinage  $C_f$  est donné par la formule :

$C_f = F_p \cdot f \cdot R_m \cdot n$

 avec

- $f$ : coefficient de frottement :  $f = 0,2$
- $F_p$ : effort presseur :  $F_p = 22 \text{ N}$
- $R_m$ : rayon moyen du disque :  $R_m = 10 \text{ mm}$
- $n$ : le nombre de contact :  $n = 1$

**Question N° 17 :** Calculez  $C_f$  en N.m . Comparez le couple de freinage  $C_f$  et le couple  $C_5$  du moteur.  
Concluez.

**Question N° 18 :** Citez les deux actions qui engendrent la création de l'effort  $F_p$  . Proposez deux autres solutions de construction permettant d'obtenir  $F_p$  dans les freins en général.

**Question N° 19 :** Au moment du démarrage, lorsque le moteur est alimenté, caractérisez les mouvements du rotor par rapport au stator.

**Question N° 20 :** En utilisant le schéma sur le document DT4, nommez et caractérisez les liaisons de centre A et de centre B entre le rotor et le stator. Citez les mobilités de chacune de ces liaisons. Décrivez la solution du constructeur. (Voir l'éclaté du moteur document DT5) L'association des deux liaisons permet-elle d'obtenir les mouvements trouvés à la question N° 19 ? Justifiez.

## B – ETUDE DE LA FONCTION FS1 : ASSURER LA STABILITE

### B - 2 : VERTICALITE DU ROTOR

L'étude B – 2 qui va être conduite a pour but de justifier la nécessité et le choix des câbles d'un haubanage, et de vérifier la résistance du rotor.

Hypothèses générales :

- L'antenne (An) est posée sur un toit et développe une hauteur de 4,50 m (voir photo N°1 page 1/10 et ci-contre) ;
- L'antenne installée est du type AFT 432 MHz à 21 éléments. (voir document DT6) ;
- On retient le cas défavorable d'un vent axial de 160 km/h ;
- Le diamètre des mâts est de 35 mm ;
- La traînée aérodynamique  $F_{vent/mât}$  sera modélisée par une charge uniformément répartie sur toute la longueur de 4,50 m. (voir modèle ci-contre :  $\vec{F}_{vent/mât} = \sum \vec{f}$ ) ;
- On néglige les masses des mâts et les masses à supporter.

#### Première partie : Mesure de la flèche au niveau du rotor.

*Répondre sur copie.*

**Question N° 21 :** On donne la modélisation de la flèche sur l'ensemble E = (antenne + mâts + rotor) obtenue à l'aide d'un logiciel de résistance des matériaux. (voir DT7)

Estimez, par mesure, la flèche en B au niveau du rotor et concluez quant à la verticalité et la nécessité d'un haubanage.

#### Deuxième partie : Haubanage et détermination graphique de la tension maximale dans un câble et choix des câbles.

*Répondre sur copie et sur le document réponse DR3.*

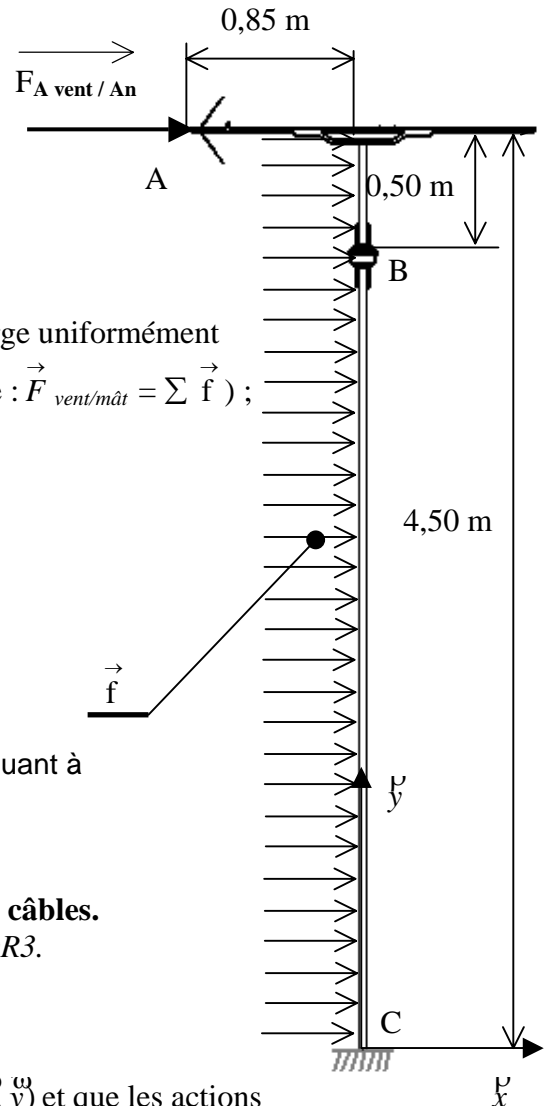
Hypothèses supplémentaires : (voir figure N°3 page 8/10)

- On admet que le problème peut-être résolu dans le plan  $(C, \vec{x}, \vec{y})$  et que les actions mécaniques peuvent être modélisées par des glisseurs coplanaires.
- Deux câbles sont situés dans le plan de symétrie  $(C, \vec{x}, \vec{y})$  à  $30^\circ$  par rapport à la verticale du mât en H et H'.
- En fonction des efforts axiaux, on admet que le câble 1 est tendu, le câble 2 étant détendu.
- Le moment en C est nul pour supprimer les risques de rupture au bas du mât.
- Le modèle de l'action mécanique du toit sur l'ensemble E au point C peut alors s'écrire :

$$\{T_{toit} / E\}_C = \begin{Bmatrix} \vec{C}_{toit/E} \\ \rho \\ 0 \end{Bmatrix}$$

- La résultante de toutes les actions dues au vent sur l'ensemble E,  $(\vec{F}_{A\ vent/An} + \vec{F}_{vent/mât})$  appliquée au point D à la distance de 3,25 m du toit, a une intensité de 450 N. Elle est modélisée par :

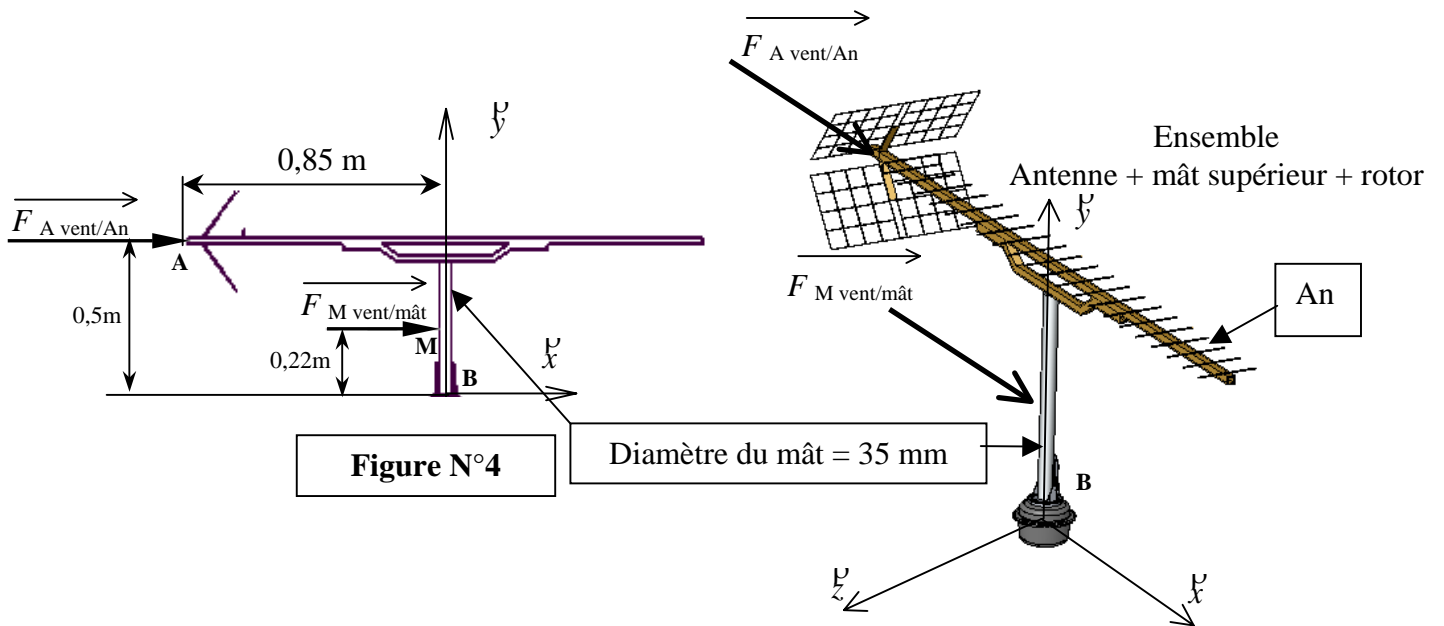
$$\{T_{vent} / E\}_D = \begin{Bmatrix} \vec{D}_{vent/E} \\ \rho \\ 0 \end{Bmatrix}$$







## Etude de l'équilibre de l'antenne et du mât supérieur (voir figure N°4)



**Question N° 26 :** Calculez en Newton l'intensité  $F_{M \text{ vent / mât}}$  sur le mât supérieur, si le vent agit sur une surface  $S$  estimée à  $17500 \text{ mm}^2$ . On donne  $F_{M \text{ vent / mât}} = C_a \cdot S$

**Question N° 27 :** Justifiez la modélisation de l'action mécanique du vent sur le mât supérieur en M, par le torseur ci-dessous :

$$\{T_{\text{vent / mât}}\}_M = \begin{Bmatrix} 25 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{(x, y, z)}$$

**Question N° 28 :** Relevez la valeur en Newton de la traînée aérodynamique du vent sur l'antenne (An), notée  $F_{A \text{ vent / An}}$  (voir document DT6).

**Question N° 29 :** Modélisez l'action mécanique du vent sur l'antenne en A par son torseur.

**Question N° 30 :** On donne le modèle de l'action mécanique du rotor sur le mât.

$$\{T_{\text{rotor / mât}}\}_B = \begin{Bmatrix} XB & LB \\ YB & MB \\ ZB & NB \end{Bmatrix}_{(x, y, z)}$$

A partir du bilan des actions mécaniques agissant sur l'antenne et sur le mât supérieur.

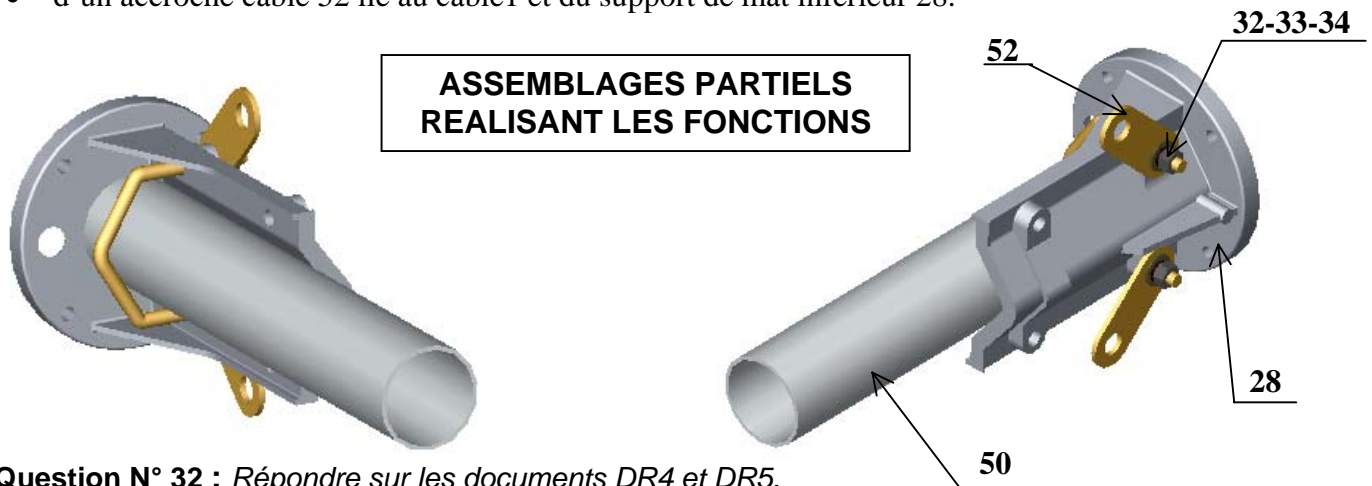
Ecrivez le principe fondamental de la statique.

**Question N° 31 :** En utilisant le théorème du moment résultant en projection sur l'axe  $\vec{y}$ , calculez  $NB$  (moment de fléchissement) et comparez cette valeur au moment de fléchissement maximum donné par le constructeur sur le document DT6 (caractéristiques du rotor G250). Concluez quant à la résistance de ce rotor.

## C – ETUDE DES FONCTIONS : FS1 ASSURER LA STABILITE ET FS5 ADAPTER LE MÂT INFÉRIEUR

L'étude qui va être conduite maintenant a pour but de réaliser l'arbre de construction relatif aux assemblages :

- du mât inférieur 50 et du support de mât inférieur 28 ;
- d'un accroche câble 52 lié au câble 1 et du support de mât inférieur 28.



**Question N° 32 :** Répondre sur les documents DR4 et DR5.

En vous aidant des exemples donnés sur les documents DR4 et DR5 :

complétez l'arbre de construction de l'assemblage de l'ensemble 50+28+31+52+32 en indiquant les contraintes manquantes.

Indiquez sur **l'éclaté avant assemblage** les flèches manquantes correspondantes aux contraintes (inspirez vous des exemples pour les contraintes A,C,D et F) .

**Question N° 33 :** Répondre sur le document réponse DR5 .

Coloriez les surfaces, axes, etc ... répondant à la contrainte G participant à l'assemblage de 52+28.

**Question N° 34 :** Répondre sur le document réponse DR5.

Coloriez d'une autre couleur les surfaces, axes, etc ... répondant à la contrainte H participant à l'assemblage de 52+28.

**Question N° 35 :** Répondre sur copie.

Les rotors d'antennes capables de supporter des charges plus importantes (jusqu'à 300 kg avec le G 2800 SDX voir document DT6) sont liés aux mâts différemment. Les étriers 31 ne conviennent plus.

Proposez, sous forme de schémas ou croquis ou perspectives ou tout autre moyen de communication graphique, une autre solution permettant un assemblage fixe par pincement entre le support de mât et le mât inférieur. **Le rotor devra répondre aux fonctions FS4 et FS5 du cahier des charges (voir page 2/10) et aucun usinage ne sera admis sur le mât inférieur 50.**