# Rotor d'hélicoptère

## Présentation

*Présentation*

La sustentation d'un hélicoptère est assurée par un rotor ou ensemble de pales tournant autour d'un axe vertical. Ce rotor, entraîné par un moteur, assure à la fois la sustentation et la propulsion de l'hélicoptère. Ce dernier est donc capable de vol stationnaire, de décollage et d'atterrissage vertical et de déplacement dans toutes les directions. Un rotor anti-couple nécessaire à la stabilisation de l'appareil est placé à l'extrémité du fuselage.

Le schéma cinématique (Fig. 1) représente un modèle simplifié du rotor principal de l'hélicoptère. Il comprend :

- Le fuselage 0 auquel est lié le repère $R_0(O,\vec{x}_0,\vec{y}_0,\vec{z}_0)$ ;
- Le moyeu central 1 qui est en liaison pivot d'axe $(O,\vec{z}_0)$ avec le fuselage 0. Le repère $R_1(O,\vec{x}_1,\vec{y}_1,\vec{z}_1)$ est lié au moyeu central 1. L'angle $\theta = (\vec{x}_0,\vec{x}_1) = (\vec{y}_0,\vec{y}_1)$ paramètre la position du moyeu.
- Le pied de pale 2 qui est en liaison pivot d'axe $(A,\vec{y}_1)$avec le moyeu 1 avec $\overrightarrow{OA} = r\,.\vec{x}_1$ (r constant). Le repère $R_2(A,\vec{x}_2,\vec{y}_2,\vec{z}_2)$ est lié au pied de pale 2. L'angle $\beta = (\vec{x}_1,\vec{x}_2) = (\vec{z}_1,\vec{z}_2)$ est appelé <u>angle de battement</u>.
- La pale 3 qui est en liaison pivot d'axe $(A,\vec{x}_2)$avec le pied de pale 2. Le repère $R_3(A,\vec{x}_3,\vec{y}_3,\vec{z}_3)$ est lié à la pale 3. L'angle $\alpha = (\vec{y}_2,\vec{y}_3) = (\vec{z}_2,\vec{z}_3)$ est appelé <u>angle de pas</u>. On pose $\overrightarrow{AM} = b\,.\vec{x}_2$ et $\overrightarrow{MK} = a\,.\vec{y}_3$ ($a$ et $b$ constants).

*Schéma cinématique*

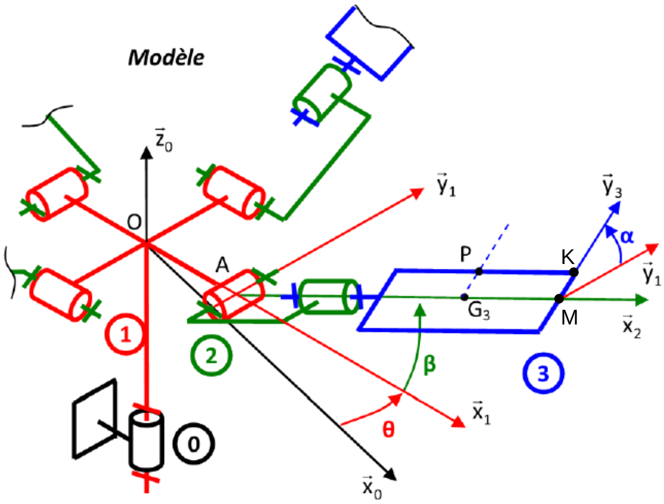



**Figure 1** : Schéma cinématique du système

*Exigences*

| Id | Exigence | Critère | Niveau |
|---|---|---|---|
| 1.1 | **Ne pas dépasser la vitesse du son en bout de pâle** | Vitesse Maxi | 340 m.s$^{-1}$ |
| 1.2 | **Avoir une course suffisante du vérin** | Course minimale | 14 cm |

## Analyse géométrique

**Q1)** Établir les trois figures planes de changement de base faisant intervenir les angles $\theta$, $\alpha$ et $\beta$.

**Q2)** Écrire les vecteurs vitesse de rotation : $\vec{\Omega}_{1/0}$, $\vec{\Omega}_{3/2}$, $\vec{\Omega}_{2/1}$ et $\vec{\Omega}_{2/0}$.

**Q3)** Déterminer, sous forme littérale, la projection du vecteur $\overrightarrow{OK}$ sur l'axe $\vec{x}_1$ , soit : $\overrightarrow{OK}.\vec{x}_1$

**Q4)** Déterminer, sous forme littérale, la norme du vecteur $\|\overrightarrow{OK}\|$ en fonction des différents paramètres du sujet.

On suppose que la position étudiée correspond à :

$r = 0{,}4\ m \quad , a = 7{,}5\ cm \quad b = 3{,}5\ m \quad \alpha = 25° \quad \beta = 15°$

**Q5)** Faire l'application numérique de la norme de $\|\overrightarrow{OK}\|$.

## Analyse dynamique

Dans le cadre d'une étude dynamique, on cherche à obtenir la vitesse du point M situé à l'extrémité de la pale 3, dans son mouvement par rapport à 0.

On note $\vec{V}(M \in 3/0)$ le vecteur vitesse du point $M$ lié à 3 par rapport à 0. On admet que cette vitesse peut se calculer par l'expression suivante : $\vec{V}(M \in 3/0) = r.\overrightarrow{\Omega_{1/0}} \wedge \overrightarrow{x_1} + b.\overrightarrow{\Omega_{2/0}} \wedge \overrightarrow{x_2}$

**Q6)** Déterminer l'expression littérale de $\vec{V}(M \in 3/0)$.

**Q7)** En déduire l'expression littérale de la norme de la vitesse : $\|\vec{V}(M \in 3/0)\|$

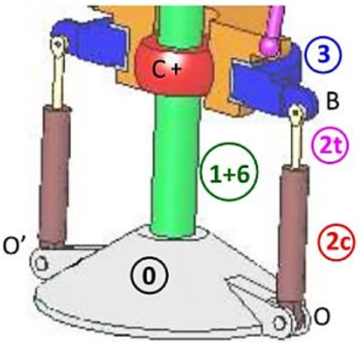
**Q8)** On suppose que l'angle $\beta$ est constant. En tenant compte de cette hypothèse, simplifier la norme de $\vec{V}(M \in 3/0)$.

On donne : $r = 0{,}4\ m \quad ; a = 7{,}5\ cm \quad ; b = 3{,}5\ m \ ; \quad \beta = 15°$

**Q9)** Vérifier dans ces conditions l'exigence 1.1 du cahier des charges en déterminant la vitesse de rotation maximale du rotor en $tr.min^{-1}$

## Étude du mécanisme de mise en mouvement de l'angle de pas

Déterminer la loi d'entrée sortie du mécanisme de mise en mouvement de l'angle de pas $\alpha$.




*Graphe des liaisons*

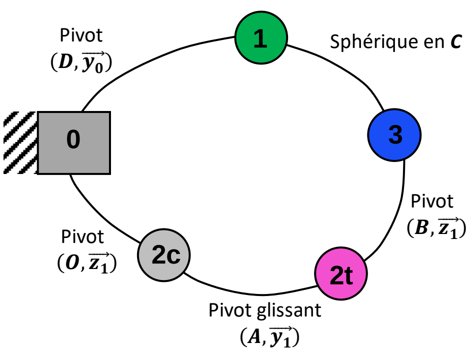



*Schéma cinématique*

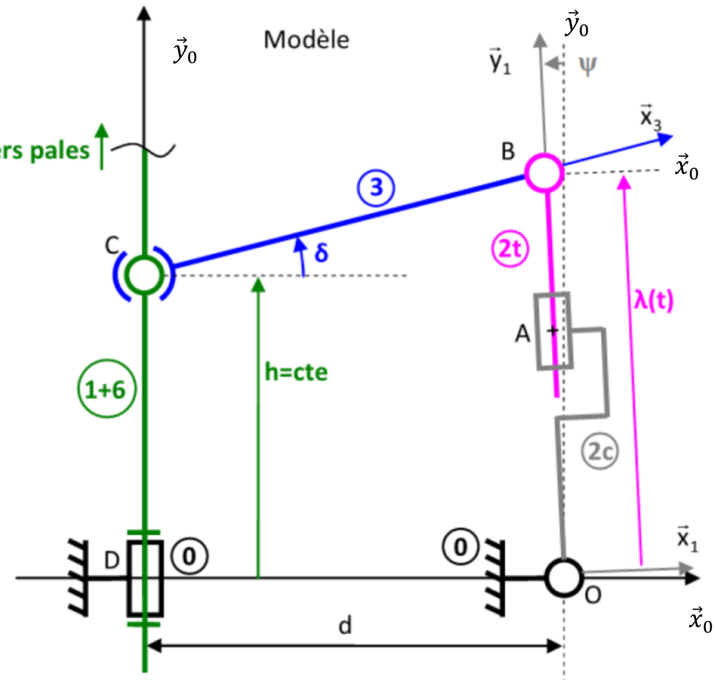



**Figure 3 :** Schéma cinématique du mécanisme de mise en mouvement de l'angle de pas

### Données :

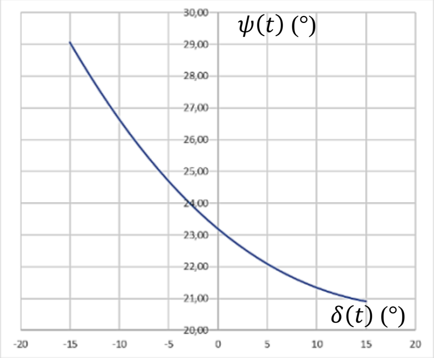
$\overrightarrow{DO} = d\,.\overrightarrow{x_0} \quad \overrightarrow{DC} = h\,.\vec{y}_0 \quad \overrightarrow{OB} = \lambda(t)\,.\vec{y}_1 \quad \overrightarrow{CB} = c\,.\vec{x}_3 \quad \psi(t) = (\vec{x}_0, \vec{x}_1) = (\vec{y}_0, \vec{y}_1)$

$\delta(t) = (\vec{x}_0, \vec{x}_3) = (\vec{y}_0, \vec{y}_3)$

On donne : $d = 0{,}4\ m \quad c = 0{,}25\ m \quad h = 0{,}35\ m$

**Q10)** Faire les figures planes décrivant les deux angles du schéma cinématique (Fig. 3).

**Q11)** A partir d'une fermeture géométrique, que l'on précisera, et que l'on projettera sur les axes $\overrightarrow{x_0}$ et $\overrightarrow{y_0}$, déterminer la loi entrée sortie géométrique du système donnant, sous forme littérale, l'élongation du vérin $\lambda(t)$ en fonction de $\delta(t), h, c$ et $d$.




**Q12)** Déterminer $\psi(t)$ en fonction de $\delta(t)$ et des dimensions. En déduire la plage de variation en degrés de l'angle $\psi(t)$ sachant que l'angle $\delta \in [-15°; 15°]$. Comparer avec la courbe $\psi(t) = f(\delta(t))$ donnée ci-contre.

**Q13)** Déterminer la course minimale que le vérin doit avoir pour correspondre à la plage de variation de l'angle $\delta(t)$. Conclure par rapport à l'exigence 1.2.

**Q14)** Tracer la courbe d'évolution de la longueur $\lambda(t)$ (*en m*) du vérin, en fonction de $\delta(t)$ (*en* °) (prendre 7 points entre $[-15°; 15°]$). Commenter la courbe obtenue.