

## Exercice 1 : Validation des performances de l'hélicoptère Écureuil

Un hélicoptère est un système industriel permettant de transporter des personnes et des marchandises par voie aérienne. Il se distingue d'un avion par son mode de propulsion, qui prend largement appui sur les pales de son rotor principal, lui permettant en outre de voler en vol stationnaire.

On s'intéresse à un hélicoptère écureuil dont on donne une partie de la modélisation ainsi qu'un extrait de cahier des charges fonctionnel dans sa phase de vie vol en translation horizontale en régime établi (vitesse constante) par rapport au sol.



Hélicoptère de type écureuil

L'objectif est de vérifier que l'hélicoptère de type écureuil atteint le critère de vitesse de déplacement du cahier des charges.

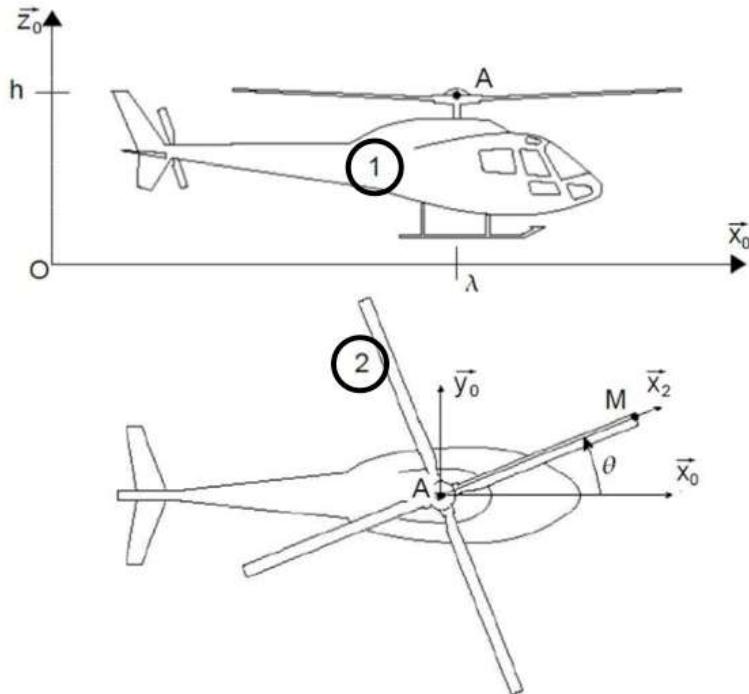
Exigence	Critère	Niveau
E1	Vitesse de déplacement	290km/h
	...	...

Pour cette étude on considère que l'hélicoptère 1 se déplace en translation rectiligne à la vitesse horizontale  $\overrightarrow{V_{A \in 1/0}} = V \vec{x}_0$  par rapport au sol 0 ( $V=\text{cte}$ ).

Le repère  $R_0(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$  est associé au sol.

Le repère  $R_1(A, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$  est associé au solide 1 avec A point placé sur l'axe de rotation du rotor 2 par rapport à l'hélicoptère 1 tel que  $\overrightarrow{OA} = h \vec{z}_0 + \lambda(t) \vec{x}_0$ .

Le rotor principal 2 de l'hélicoptère comporte 4 pales. Soit  $R_2(A, \vec{x}_2, \vec{y}_2, \vec{z}_2)$  repère en rotation par rapport à  $R_1$  d'un angle  $\theta$  autour de l'axe  $(A, \vec{z}_2)$ .



La vitesse angulaire (constante) du rotor par rapport à l'hélicoptère est notée  $\dot{\theta} = \omega$ . Soit M le point situé à l'extrémité d'une pale tel que  $\overrightarrow{AM} = R \vec{x}_2$ .

**Q.1.** Déterminer les expressions littérales du torseur cinématique  $\{V_{1/0}\}$  au point A et celle du torseur cinématique  $\{V_{2/1}\}$  au point A.

**Q.2.** En déduire le torseur cinématique  $\{V_{2/0}\}$  au point A.

**Q.3.** En déduire  $\overrightarrow{V_{M \in 2/0}}$  par le champ des vitesses.

**Q.4.** Retrouver  $\overrightarrow{V_{M \in 2/0}}$  par le calcul direct.

**Q.5.** Déterminer la norme de  $\overrightarrow{V_{M \in 2/0}}$  puis déterminer la vitesse maximale  $V_{\max}$  (préciser pour quelle position angulaire cette vitesse est atteinte) en fonction de R, V et  $\omega$ .

**Q.6.** La vitesse angulaire du rotor principal est de 370 tours/min. La longueur d'une pale est  $R = 5,1$  m. Déterminer la valeur numérique de la vitesse maximale en km/h.

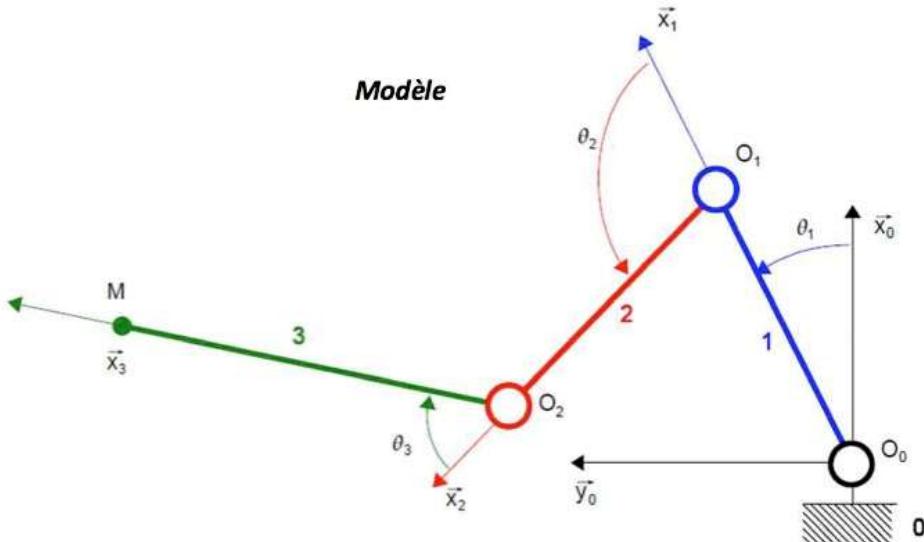
**Q.7.** Sachant que la pale de l'hélicoptère ne doit pas dépasser 85% de la vitesse du son, conclure quant à la capacité de l'hélicoptère à satisfaire le critère de vitesse de déplacement du cahier des charges.

### Exercice 2 : Robot cueilleur de fruits

Le bras 1 tourne autour de l'axe  $(O_0, \vec{z}_0)$  par rapport au bâti 0. Le bras 2 tourne autour de l'axe  $(O_1, \vec{z}_0)$  par rapport à 1. Le bras 3 tourner autour de l'axe  $(O_2, \vec{z}_0)$  par rapport à 2.

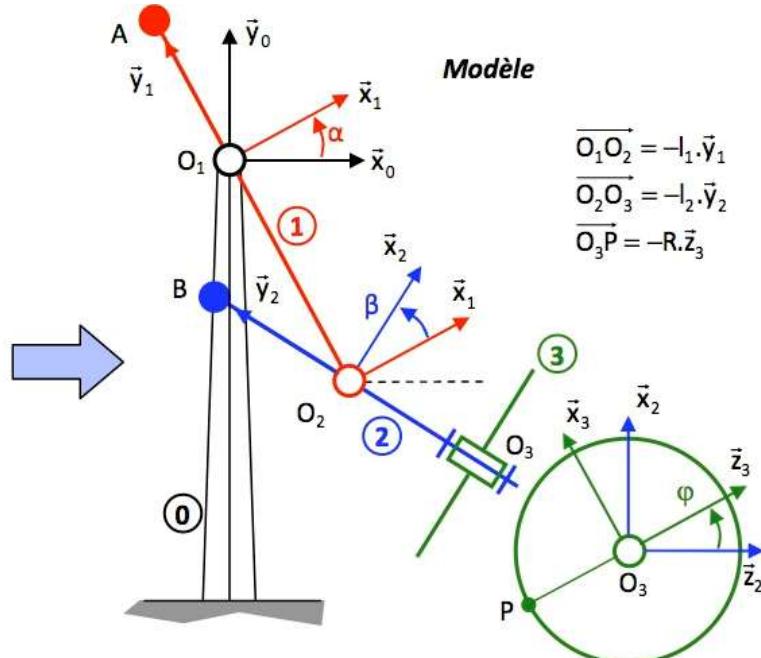
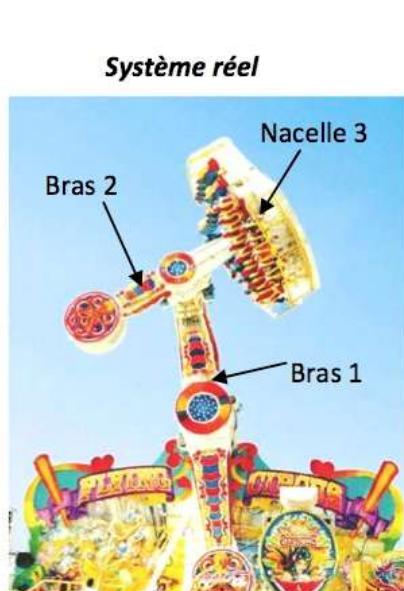
On pose :

$$\begin{aligned}\overrightarrow{O_0 O_1} &= R \cdot \vec{x}_1 \\ \overrightarrow{O_1 O_2} &= R \cdot \vec{x}_2 \\ \overrightarrow{O_2 M} &= L \cdot \vec{x}_3\end{aligned}$$



**Q.1.** Déterminer  $\overrightarrow{V_{M,3/0}}$  par composition des mouvements et champ des vecteurs vitesse et comparer les résultats avec ceux obtenus au TD6

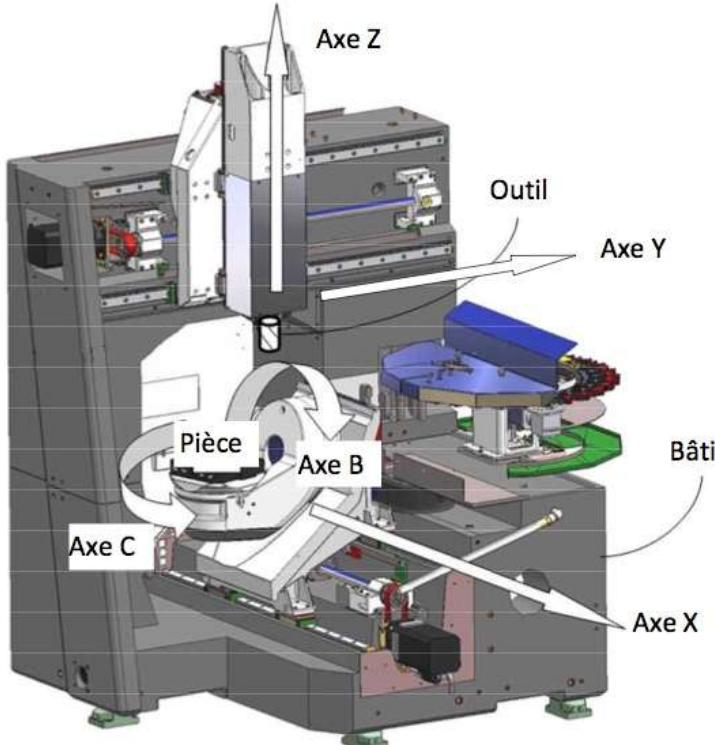
### Exercice 3 : Manège Magic Arms



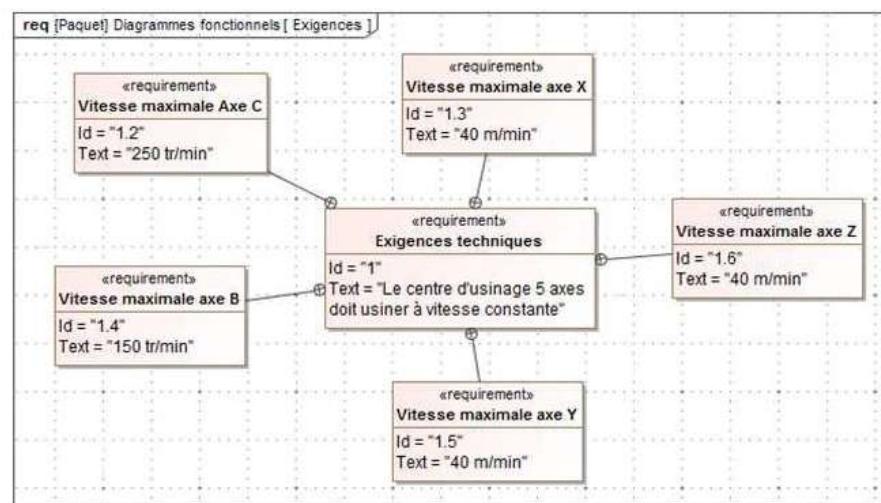
**Q.1.** Déterminer l'expression générale de la vitesse du point P associé au passager par rapport au bâti 0, notée  $\overrightarrow{V_{P,3/0}}$  par le champ des vecteurs vitesse et la composition de mouvement

## Exercice 4 : Centre d'usinage grande vitesse 5 axes

L'usinage est une opération de transformation d'un produit par enlèvement de matière. Cette opération est à la base de la fabrication de produits dans les industries mécaniques. On appelle le moyen de production associé à une opération d'usinage une machine outil ou un centre d'usinage. La génération d'une surface par enlèvement de matière est obtenue grâce à un outil muni d'au moins une arête coupante.



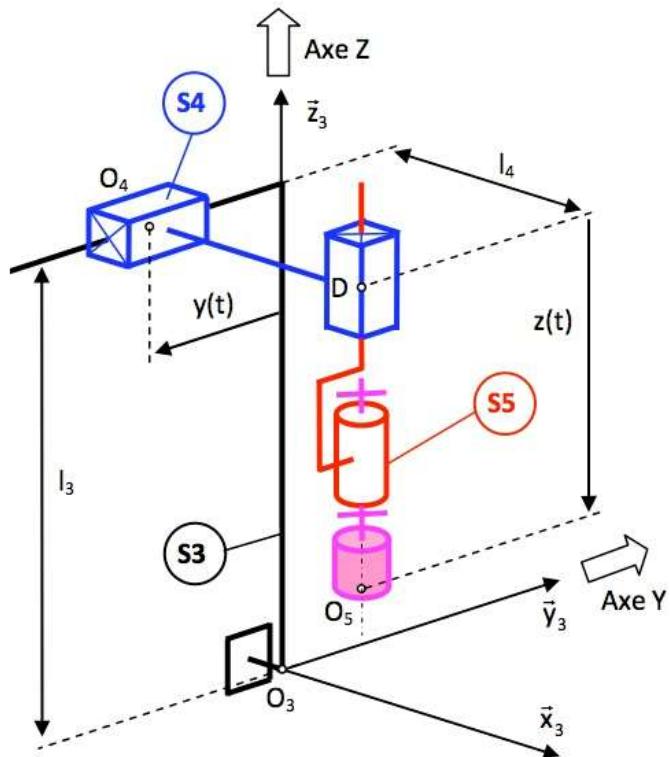
Sur cette machine, 2 axes sont utilisés pour mettre en mouvement l'outil par rapport au bâti (ce sont les translations Y et Z) et 3 axes sont utilisés pour mettre en mouvement la pièce par rapport au bâti (ce sont la translation X et les deux rotations B et C).



La chaîne cinématique pour déplacer l'outil par rapport au bâti est fournie sur la figure suivante.

	Variable	Course
Axe X	$x(t)$	800mm
Axe Y	$y(t)$	600mm
Axe Z	$z(t)$	500mm
Axe B	$\theta_1(t)$	+30°/-110°
Axe C	$\theta_0(t)$	360°

L'objectif de cette étude est de déterminer les conditions cinématiques à imposer pour respecter le critère de qualité d'usinage du cahier des charges.



Les solides S3, S4 et S5 sont associés aux repères suivants :  $R_3(O_3, \vec{x}_3, \vec{y}_3, \vec{z}_3)$   
 $R_4(O_4, \vec{x}_4 = \vec{x}_3, \vec{y}_4 = \vec{y}_3, \vec{z}_4 = \vec{z}_3)$   
 $R_5(O_5, \vec{x}_5 = \vec{x}_3, \vec{y}_5 = \vec{y}_3, \vec{z}_5 = \vec{z}_3)$

On pose :  $\overrightarrow{O_3O_4} = \vec{y}_3 + l_3 \cdot \vec{z}_3$   
 $\overrightarrow{O_4D} = l_4 \cdot \vec{x}_4$   
 $\overrightarrow{DO_5} = l_4 \cdot \vec{z}_5$

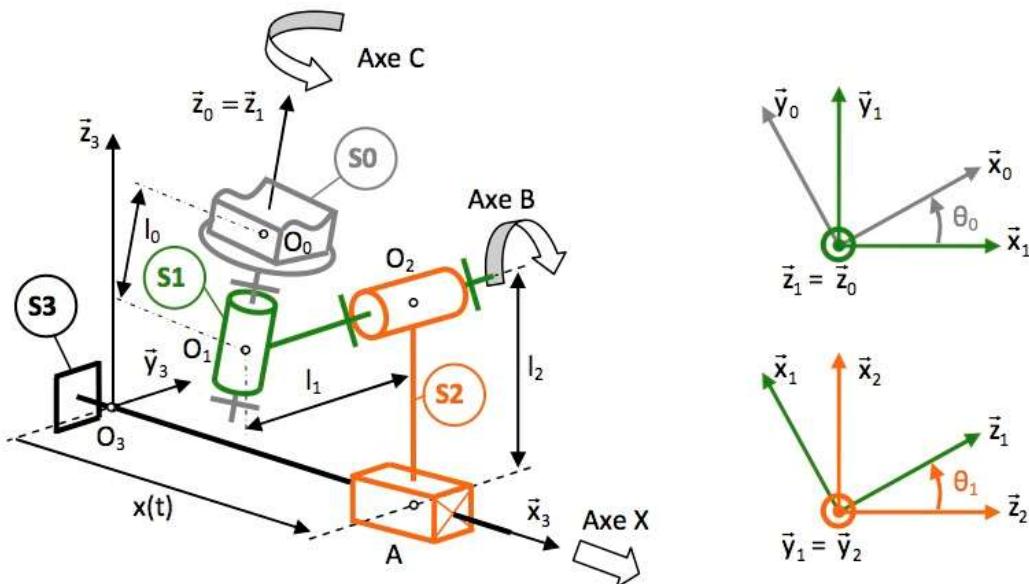
**Q.1.** Exprimer  $\overrightarrow{O_3O_5}$  dans la base du référentiel  $R_3$ .

**Q.2.** Définir et caractériser le lieu géométrique du point  $O_5$  (extrémité de l'outil) dans son mouvement par rapport au repère  $R_3$ , lorsque l'on commande les axes Y et Z.

**Q.3.** Donner l'expression de  $\overrightarrow{V_{O_5 \in R_3}}$ .

**Q.4.** Calculer la valeur maximale de la norme du vecteur vitesse  $\|V_{O_5 \in R_3}\|$ .

La chaîne cinématique pour déplacer la pièce par rapport au bâti est fournie sur la figure suivante.



Les solides S3, S2, S1 et S0 sont associés aux repères suivants :

$R_3(O_3, \vec{x}_3, \vec{y}_3, \vec{z}_3)$  ;  $R_2(O_2, \vec{x}_2 = \vec{x}_3, \vec{y}_2 = \vec{y}_3, \vec{z}_2 = \vec{z}_3)$  ;  $R_1(O_1, \vec{x}_1, \vec{y}_1 = \vec{y}_2, \vec{z}_1)$  et  $R_0(O_0, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0 = \vec{z}_1)$

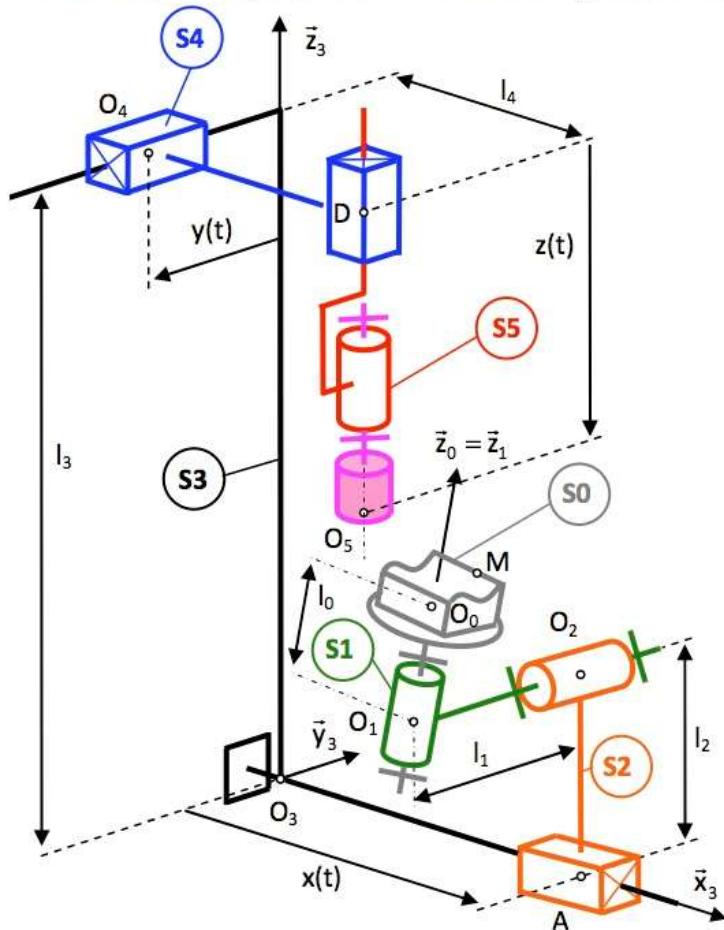
On pose :  $\overrightarrow{O_3A} = x \cdot \vec{x}_3$  ;  $\overrightarrow{AO_2} = l_2 \cdot \vec{z}_3$  ;  $\overrightarrow{O_2O_1} = -l_1 \cdot \vec{y}_3$  ;  $\overrightarrow{O_1O_0} = l_0 \cdot \vec{z}_1$

**Q.5.** Caractériser le lieu géométrique du point  $O_0$  dans son mouvement par rapport au repère  $R_3$  lorsque l'on commande les axes X, B et C.

**Q.6.** Déterminer l'expression de  $\overrightarrow{V_{O_0 \in R_3}}$ .

**Q.7.** Déterminer la valeur maximale de la norme de cette vitesse si  $l_0 = 0,1\text{m}$  et  $\dot{x} = 0$ .

La cinématique complète de la machine d'usinage est donnée sur la figure suivante.



La surface usinée est définie comme un ensemble de points  $M$  de coordonnées  $(x_M, y_M, z_M)$  dans le repère  $R_0$ .

**Q.8.** Réaliser le graphe des liaisons du système complet.

**Q.9.** Déterminer  $\overrightarrow{\Omega_{S0/R3}}$  dans la base du référentiel  $R_1$ .

On note  $\overrightarrow{V_{M \in 0/3}} = v_{x_M} \cdot \vec{x}_3 + v_{y_M} \cdot \vec{y}_3 + v_{z_M} \cdot \vec{z}_3$

**Q.10.** Déterminer  $v_{y_M}$ , c'est à dire la projection de  $\overrightarrow{V_{M \in 0/3}}$  sur l'axe  $\vec{y}_3$ .

**Q.11.** Déterminer une relation entre  $\overrightarrow{V_{O_5 \in 5/0}}$ ,  $\overrightarrow{V_{O_3 \in 5/3}}$ ,  $\overrightarrow{V_{M \in 0/3}}$  et  $\overrightarrow{\Omega_{S0/R3}}$ .

**Q.12.** Le point  $O_5$  doit se déplacer sur la surface usinée des points  $M$ . En déduire une simplification de l'équation de la question précédente.

**Q.13.** Déterminer la contrainte cinématique à appliquer sur  $v_{x_M}$ ,  $v_{y_M}$ ,  $v_{z_M}$ ,  $\dot{y}$  et  $\dot{z}$  pour assurer le critère de qualité d'usinage du cahier des charges.