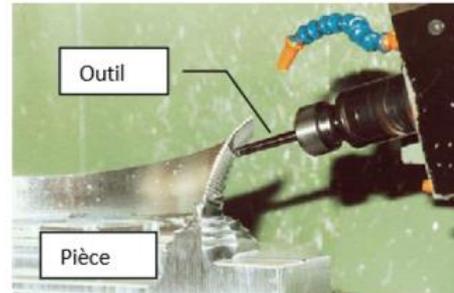


**Etude d'un centre d'usinage grande vitesse 5 axes**

(Inspiré du concours ATS GM 2006)

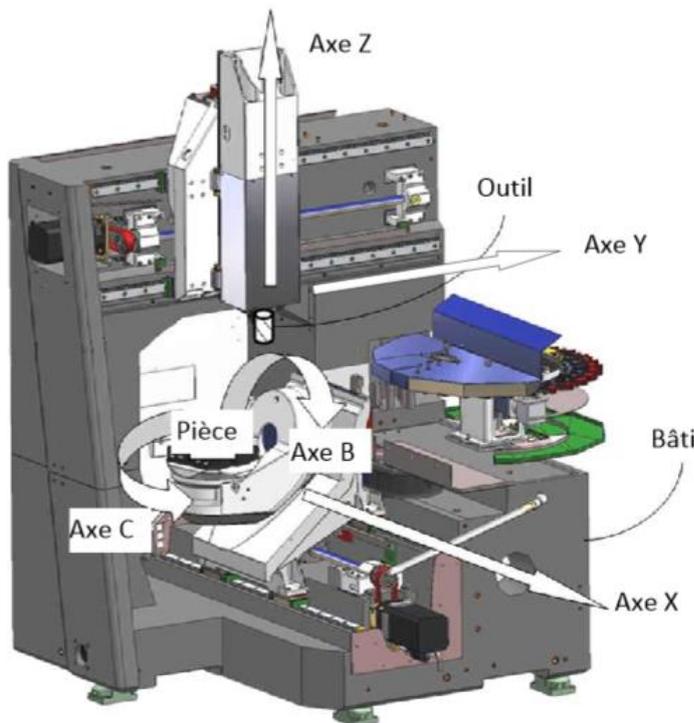
L'usinage est une opération de transformation d'un produit par enlèvement de matière. Cette opération est à la base de la fabrication de produits dans les industries mécaniques. On appelle le moyen de production associé à une opération d'usinage une machine outil ou un centre d'usinage. La génération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



Les différentes formes de pièces sont obtenues par des translations et des rotations de l'outil par rapport à la pièce.

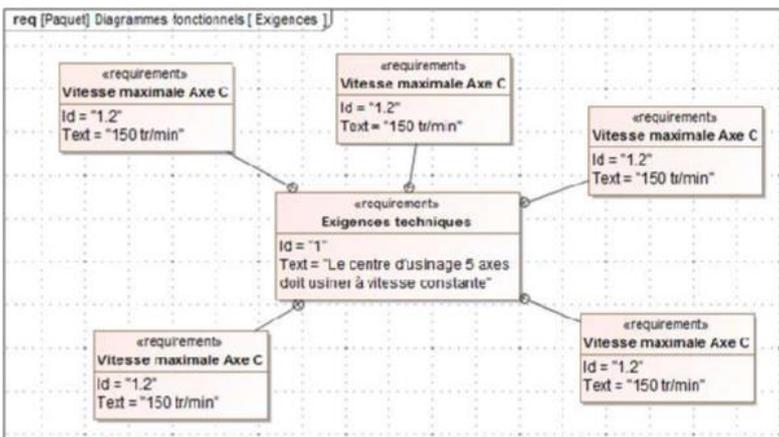


Exemple de pièce complexe obtenue par usinage



La figure ci-contre est un exemple de machine possédant 3 translations (X, Y et Z) et deux rotations (B et C). Une telle machine est appelée machine 5 axes (un axe est un ensemble qui gère un des mouvements élémentaire, translation ou rotation).

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).



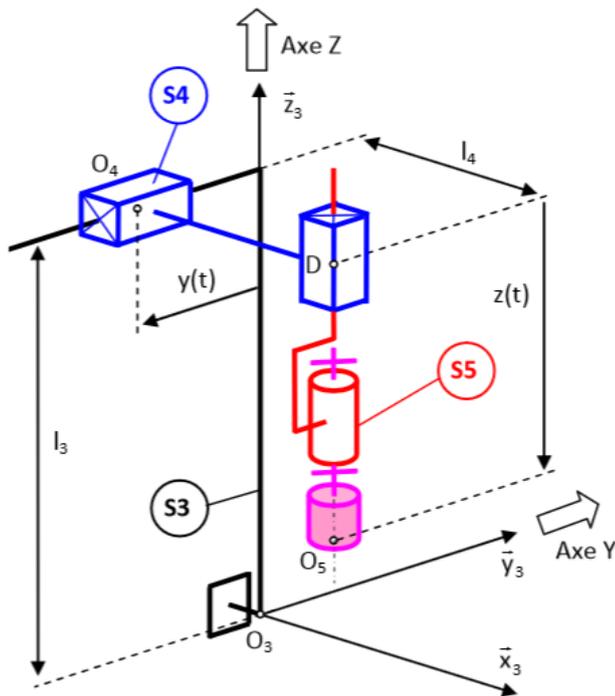
	Variable	Course
Axe X	$x(t)$	800mm
Axe Y	$y(t)$	600mm
Axe Z	$z(t)$	500mm
Axe B	$\theta_1(t)$	+30°/-110°
Axe C	$\theta_0(t)$	360°

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.

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



TD Comportement des systèmes mécaniques: cinématique du solide



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 :  $\vec{O_3O_4} = y \cdot \vec{y}_3 + l_3 \cdot \vec{z}_3$

$$\vec{O_4D} = l_4 \cdot \vec{x}_4$$

$$\vec{DO_5} = z \cdot \vec{z}_5$$

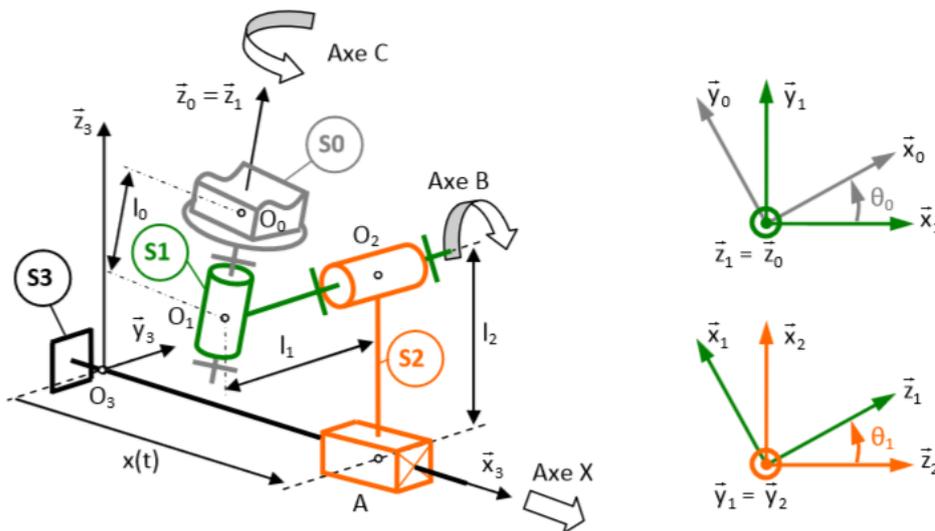
**Q.1.** Exprimer  $\vec{O_3O_5}$  dans la base du référentiel  $R_3$ .

**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  $\vec{V}_{O_5 \in S/3}$ .

**Q.4.** Calculer la valeur maximale de la norme du vecteur vitesse  $\|\vec{V}_{O_5 \in S/3}\|$ .

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 :

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

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

**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.

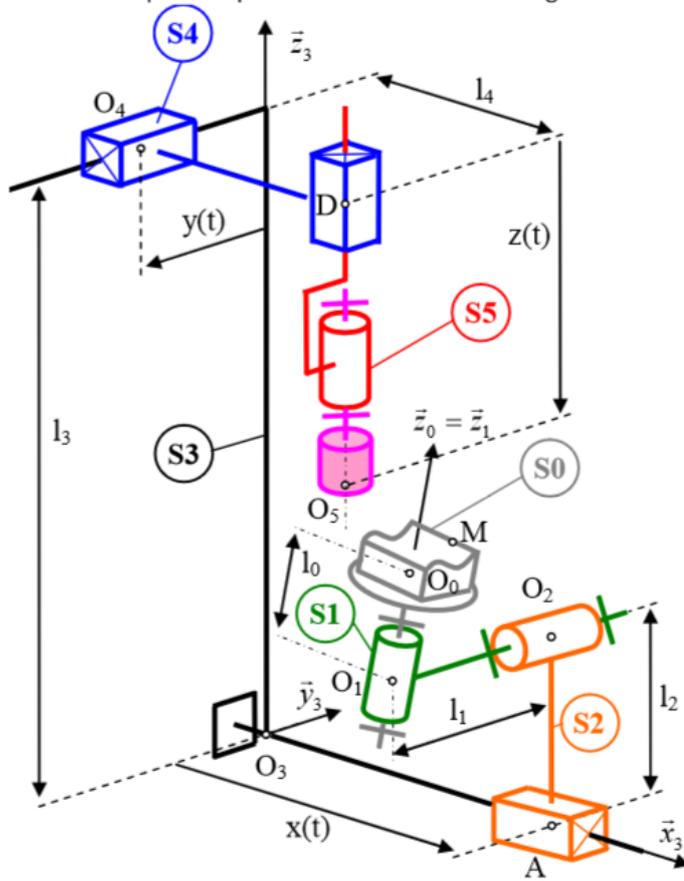
**Q.6.** Déterminer l'expression de  $\vec{V}_{O_0 \in 0/3}$ .

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



TD Comportement des systèmes mécaniques: cinématique du solide

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

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

**Q.11.** Déterminer une relation entre  $\overrightarrow{V_{O_5 \in S/0}}$ ,  $\overrightarrow{V_{O_5 \in S/3}}$ ,  $\overrightarrow{V_{M \in O/3}}$  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.